

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный университет путей сообщения»
МГУПС (МИИТ)

На правах рукописи

Дубровская Татьяна Алексеевна

Обоснование проектных решений при реконструкции железных
дорог для скоростного движения пассажирских поездов

05.22.06 «Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
кандидат технических наук, доцент
Миронов Виктор Степанович

Москва – 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
1 ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ	9
1.1 История внедрения высоких скоростей движения пассажирских поездов	9
1.2 Особенности проектирования железных дорог для скоростного движения в Республике Беларусь	27
1.3 Использование подвижного состава с наклоном кузова	38
2 АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБОСНОВАНИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОЕК- ТАХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	47
2.1 Общая и сравнительная эффективность проектных решений	47
2.2 Классификация задач по принятию решений в проектах железных дорог	56
2.3 Факторы неопределенности при обосновании решений для ско- ростного движения	61
2.4 Критерии принятия решений в условиях неопределенности	68
2.5 Постановка задачи исследования	76
3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВНЕДРЕНИЯ СКО- РОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВА- ГОНОВ С НАКЛОНОМ КУЗОВА	78
3.1 Обоснование параметров плана железной дороги с учетом исполь- зования вагонов с наклоном кузова	78
3.1.1 Радиусы круговых кривых	78
3.1.2 Длины переходных кривых и прямых вставок	89
3.2 Габаритное уширение междупутья	95
3.3 Эффективность внедрения скоростного движения с учетом ис- пользования вагонов с наклоном кузова	100
3.4 Стоимость пассажиро-часа	109

3.5	Выводы по главе 3	114
4	ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ДЛЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕ- ЛЕННОСТИ	116
4.1	Алгоритм принятия решений в условиях неопределенности	116
4.2	Методика расчета интегрального вероятностного критерия	122
4.3	Выводы по главе 4	127
5	ПРИМЕР ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ДЛЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ	128
5.1	Исходные данные	128
5.2	Формирование матриц частных критериев и риска	133
5.3	Принятие решений в условиях неопределенности с использовани- ем различных общих критериев	135
5.3.1	Классические критерии принятия решений в условиях неопреде- ленности и риска	135
5.3.2	Определение интегрального вероятностного критерия	140
5.4	Выводы по главе 5	144
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	146
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	148

ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожный транспорт занимает ведущее место в общей транспортной системе. Повышение эффективности работы железнодорожного транспорта находится в тесной связи с решением проблемы повышения скоростей в грузовом и, особенно, в пассажирском движении.

Повышение скоростей движения поездов – одна из важнейших задач совершенствования эксплуатационной работы и развития железнодорожного транспорта во всех индустриальных странах мира.

Скоростное движение пассажирских поездов позволяет сократить затраты времени пассажира на поездку и тем самым повысить качество транспортных услуг. Благодаря этим и другим преимуществам по сравнению с другими видами транспорта скоростное сообщение становится экономичной и экологически чистой составной частью мировой транспортной системы.

Скоростные перевозки пассажиров в мировой практике, как правило, внедряются на существующих линиях со смешанным грузовым и пассажирским движением. Для повышения скоростей движения дорога должна быть реконструирована. Задачи реконструкции – обеспечить безопасность и комфортабельность езды пассажиров при высоких скоростях движения, а также увеличить возможную провозную способность линии, так как при скоростном движении существенно увеличивается съём грузовых поездов пассажирскими и возрастает необходимая пропускная способность железной дороги.

В последние годы для реализации скоростного движения пассажирских поездов используют вагоны с наклоном кузова, что позволяет уменьшить объёмы реконструкции трассы, вызванной необходимостью увеличения радиусов кривых в плане с целью обеспечения комфортабельной езды пассажиров. Нормативная база по плану трассы при эксплуатации такого подвижного состава разработана недостаточно.

При обосновании параметров реконструируемых линий для скоростного движения используют исходные данные, охватывающие период эксплуатации в 15-20 лет, что предопределяет её недостоверность. Поэтому принятие проектного решения относится к классу недетерминированных задач в условиях неопределенности исходной информации. Факторы неопределенности, структура критерия принятия решения такого рода задач исследованы не в полной мере.

Таким образом, тема диссертации относится к актуальным задачам проектирования железных дорог.

Целью исследования является разработка методики обоснования технических параметров и средств оснащения существующей железнодорожной линии, реконструируемой для скоростного движения (до 200 км/ч пассажирских поездов, с учетом эксплуатации подвижного состава с наклоном кузова в условиях неопределенности исходной информации.

Задачи исследования решались в соответствии с общепринятой методикой выполнения научных разработок. Были выполнены анализ и обобщение предшествующих исследований, произведена выработка рабочих гипотез и концепций, проведены аналитические исследования и выполнены экспериментальные расчеты по предложенным методикам.

Проведен системный анализ условий неопределенности, имеющих место при обосновании технических параметров железнодорожной линии, реконструируемой для скоростного движения пассажирских поездов.

В основу предлагаемой методики положены принципы теории игр и принятия решений. При постановке и решении задачи по выбору оптимального варианта с помощью предлагаемого интегрального вероятностного критерия использовано математическое и геометрическое моделирование и некоторые разделы высшей математики.

В первой главе приведен обзор трудов отечественных ученых, занимающихся вопросами повышения скоростей движения поездов. Проведен анализ развития скоростного движения в различных странах мира, а также установлены особенности внедрения скоростного движения на территории Респуб-

лики Беларусь. Сделан обзор использования подвижного состава с наклоном кузова. Отмечен существенный вклад в теорию и практику введения скоростного движения на существующих железнодорожных линиях отечественных ученых: А. В. Гавриленкова, О. П. Ершкова, А. И. Иоаннисяна, И. И. Кантора, В. Ю. Козлова, Н. В. Колодяжного, В. А. Копыленко, Ф. П. Кочнева, В. С. Миронова, В. О. Певзнера, Е. С. Свинцова, Е. А. Сотникова, И. В. Турбина, Г. И. Черномордика, С. В. Шкурникова, Г. М. Шахунянца и многих других.

Проведенный автором анализ особенностей проектирования железных дорог для скоростного движения в Республике Беларусь показывает необходимость проведения реконструктивных мероприятий. Одним из таких мероприятий является частичная реконструкция плана линии под скоростное движение с применением подвижного состава с наклоном кузова.

Во второй главе сделан анализ методов обоснования решений в проектах железных дорог. При этом кроме традиционных способов выбора решения с использованием детерминированной информации рассмотрены критерии принятия решения в условиях неопределенности. Задачи по принятию решений можно классифицировать по разным признакам. В исследовании предполагается выполнить выбор параметров как однокритериальной статической задачи с учетом неопределенности исходной информации.

Третья глава посвящена разработке методики расчета величины радиуса, необходимого для скоростного движения пассажирских поездов в условиях смешанных перевозок. Задача – предложить методику, которая охватывала бы не только реконструкцию круговых кривых для обычного подвижного состава, но и для вагонов с наклоном кузова. Цель – установить зависимость между скоростью и радиусом и показать, как влияет применение вагонов с наклоном кузова на существующих радиусах на увеличение скорости движения поездов. Установлено возвышение наружного рельса, обеспечивающее комфортабельность езды пассажиров при использовании вагонов с наклоном кузова, а также габариты вписывания подвижного состава.

Определена структура затрат и доходов, которые необходимо учитывать при обосновании эффективности введения скоростного движения и сравнении при этом вариантов проектных решений. Выполнен пример расчета сравнительной и общей эффективности при реконструкции для скоростного движения. Предложена методика расчета стоимости пассажира-часа, используемой при обосновании эффективности скоростного движения.

В 4 и 5 главах приведены разработка методики выбора технических параметров реконструкции линий для скоростного движения с учетом неопределенности и пример её применения. Расчеты выполнены для участка, примыкающего к Минску в пределах второго Критского коридора (ст. Бобр – ст. Минск – ст. Негорелое). Приведена блок-схема последовательности решения задачи. С помощью матрицы рисков определяются зависимости общего критерия от вероятности реализации вариантов расчетных условий и вычисляется интегральный вероятностный критерий (ИВК).

В результате выполненных исследований:

- получены аналитические зависимости для определения радиусов кривых в условиях смешанного грузового и пассажирского движения при подвижном составе с наклоном кузова, предложен 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;

- выполнен анализ существующих способов определения стоимости пассажира-часа и предложены две новых методики расчета – на основании сравнения скоростных и пассажирских поездов, курсирующих на реконструируемом направлении, и с использованием проектных данных (величина капвложений, эксплуатационных расходов и сокращение времени нахождения пассажиров в пути);

– выполнена адаптация и развитие методики выбора решений в проектах железных дорог с учетом 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.

Полученные результаты, в связи с их актуальностью, могут быть использованы при разработке нормативных документов, специальных технических условий для проектирования скоростных магистралей, а также при разработке проектов реконструкции железных дорог для внедрения скоростного движения пассажирских поездов.

С использованием материалов диссертации разработаны методические указания для курсового и дипломного проектирования по транспортным специальностям.

Опубликованные соискателем работы в полной мере отображают материалы диссертации.

Диссертация обсуждалась на заседаниях кафедр «Изыскания и проектирование железных дорог», «Проектирование и строительство железных дорог» МИИТа, а также «Изыскания и проектирование железных дорог» ПГУПС. Кроме того, сделаны доклады и опубликованы тезисы на семи конференциях, в том числе четырех международных.

1 ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

1.1 История внедрения высоких скоростей движения пассажирских поездов

Повышение скорости движения всегда было одной из главных задач железных дорог. Необходимость увеличения скорости движения на всех видах транспорта с целью ускорения доставки пассажиров и грузов вызывается требованиями повышения эффективности общественного производства и производительности труда.

Вместе с этим, с возрастанием скоростей движения грузовых поездов увеличивается возможная пропускная и провозная способности железнодорожной линии.

В пассажирском движении повышение скорости поездов увеличивает фонд рабочего времени, времени для отдыха, способствует развитию государственных и культурных связей. В грузовом движении в результате повышения скоростей определенная часть грузовой массы передаётся из сферы обращения в сферу потребления, а высвобожденные вагоны направляются для дополнительной погрузки.

Обладая значительными преимуществами по сравнению с другими видами транспорта (экономичность, экологическая чистота, высокий уровень безопасности и комфорта), скоростные железные дороги получают всё большее распространение. Общая протяженность высокоскоростных магистралей (ВСМ) в мире в настоящее время составляет около 7000 км, в том числе 3750 км в Европе, причем высокоскоростные поезда обслуживают также полигон протяженностью около 20000 км обычных железнодорожных линий, реконструированных под скоростное движение [29]. В процессе проектирования и строительства находятся ещё 10000 км скоростных дорог.

Многолетний зарубежный опыт проектирования и эксплуатации скоростных дорог, несмотря на различия социально–экономических, геологических, топографических, демографических условий в разных странах, доказал целесообразность двух способов решения проблемы повышения скоростей: организация скоростного движения на существующих линиях; строительство и ввод в эксплуатацию специализированных высокоскоростных магистралей.

Исследования показали [9], что реконструкция существующих железнодорожных линий со смешанным движением грузовых и пассажирских поездов позволяет поднять скорости до 200 км/ч. Для достижения более высоких скоростей целесообразно сооружение специализированных высокоскоростных магистралей. По прогнозам скоростное движение в ближайшем будущем охватит значительно более широкий сектор пассажирских перевозок, чем высокоскоростное, так как его организация не связана со строительством новых линий, хотя и потребует существенных затрат на реконструкцию существующих железных дорог.

К настоящему времени сформировались два центра высокоскоростного сообщения – Япония и Европа, что обусловлено большим значением для этих регионов железнодорожного транспорта, густотой населения территории и высоким развитием науки и техники, в частности – железнодорожных технологий. Высокими темпами внедряется высокоскоростное движение в Китае.

Динамика последовательного увеличения скоростей хорошо прослеживается в истории развития железных дорог мира. В 1829 г. паровоз Rocket достиг скорости 85 км/ч. В 1890 г., во Франции, паровоз Crampton достиг 144 км/ч с массой поезда 157 т. Немецкий электропоезд на участке Цоссен – Мариенфельд в 1903 г. впервые превысил рубеж скорости 200 км/ч, развив скорость 210 км/ч. В США, до второй мировой войны был установлен рекорд скорости 180 км/ч, но в феврале 1954 г., во Франции, была зарегистрирована скорость 243 км/ч, а в 1955 г. здесь же была установлена скорость 331 км/ч при локомотивной тяге. В 1959 г. в Японии реализованы экспериментальные поездки со скоростями до 256 км/ч. Рекорды скорости, установленные во Франции, были улучшены там же:

26 февраля 1981 г. – поезд TGV достиг скорости 380 км/ч. Затем в мае 1988 г. экспериментальный поезд "Интерсити - экспресс" (ICE) в ФРГ, поднял рекорд скорости для железнодорожного транспорта до 406,9 км/ч. Во Франции, во время испытательного рейса сверхскоростного экспресса "TGV - Atlantic" в 1990 г. зафиксирована скорость 515,3 км/ч. Опытный электропоезд из серии TGV, создан специально для установления рекорда скорости. Этот уровень не является пределом. Поезд V150 3 апреля 2007 года, на не открывшейся магистрали LGV Est между Страсбургом и Парижем разогнался до скорости 574,8 км/ч, тем самым побив рекорд 1990 года. Но это были рекордные поездки, цель которых заключалась в том, чтобы показать технические возможности новых по своему времени локомотивов.

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

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

Тенденция, направленная на строительство новых железнодорожных магистралей, предусматривает:

- строительство изолированных от существующей сети специализированных высокоскоростных пассажирских магистралей;
- строительство высокоскоростных магистралей, имеющих выход на существующую сеть железных дорог;
- строительство скоростных магистралей для пассажирского движения совмещенного с грузовым.

Реконструкция существующих линий в зависимости от уровня повышения скорости осуществляется двумя способами:

- частичное изменения трассы линии, усовершенствование технического их оснащения устройствами АТ и С, электрификацией и других при уровне скорости до 160 км/ч;

– коренное изменение трассы линии, увеличение числа путей на существующих линиях при скоростях от 160 до 200 км/ч и более.

Проблемы повышения скоростей движения в каждой стране решаются с учетом конкретной ситуации, сложившейся на дорогах.

Скоростная сеть Японии, эксплуатация которой началась в 1964 г. открытием линии Токио – Осака, протяженностью 515 км, имеет сейчас протяженность 1835 км (таблица 1.1). Скорости свыше 200 км/ч, высокая степень комфорта, надежность способствовали достижению высоких экономических результатов, перераспределению пассажирских перевозок на транспортном рынке страны. Успех эксплуатации данной линии предопределил строительство в Японии в 1964–1998 гг. других скоростных магистралей: Осака – Хаката – Санъё Синкансэн (553,7 км); Токио – Мориока – Тохоку Синкансэн (496,5 км); Омия – Ниигата – Дзэцу Синкансэн (269,5 км); Такасака – Нагано – Хокурику Синкансэн (117,4 км), а также линий мини – Ямагата – Фукусима (87 км) и Мориока-Акита (127 км).

Таблица 1.1 – Скоростная и высокоскоростная сеть железных дорог Японии

Линия	Длина, км	Год начала эксплуатации	Максимальная скорость, км/ч
Токио – Осака (линия Токайдо)	515,4	1964	270
Осака – Хаката (линия Санъё)	553,7	1972/1975 (поэтапно)	300
Токио – Мориока – Хатинюхе (линия Тохоку)	593,0	1982/2002 (поэтапно)	275
Токио – Ниигата (линия Дзэцу)	269,5	1982	275
Такасаки – Нагано (линия Хокурику)	117,4	1997	260
Фукусима – Ямагата (линия Ямагата)	87,1	1992	130
Мориока – Акита (линия Акита)	127,3	1997	130
Яцусиро – Кагосима (линия Кюсю)	126,1	2004	260

В Республике Корея 29 марта 2004 г. было открыто движение на первом скоростном участке Сеул – Тэгу протяженностью 330 км, вторая очередь магистрали длиной 82 км введена в эксплуатацию в 2006 г.

В США осуществлена программа реконструкции железнодорожной линии Бостон – Нью-Йорк – Вашингтон. 12 ноября 2000 г. началась регулярная эксплуатация на этом маршруте скоростных поездов Acela Express со скоростью до 220 км/ч.

Италия является одним из первопроходцев в развитии высокоскоростных железных дорогах в Европе и создателем оригинала поездов серии «Pendolino» – поезда с системой наклона, которые были широко приняты в нескольких странах, чтобы эффективнее использовать обычный путь (в противоположность специально построенному высокоскоростному). В Италии осуществляется объявленная в 1986 г. программа создания сети скоростных магистралей общей протяженностью 1100 км. В 2005 г. введена в эксплуатацию линия Рим – Неаполь (220 км), а в начале 2006 г. Турин – Милан (125 км), Флоренция – Болонья (77 км), Милан – Болонья (196 км). Новые скоростные магистрали строятся в соответствии с требованиями Международного союза железных дорог и рассчитаны на максимальную скорость 300 км/ч. В связи с этим в объединенной сети скоростных дорог Италии (маршрут Турин – Милан – Венеция и Милан – Болонья – Флоренция – Рим – Неаполь) участок Флоренция – Рим, построенный ранее, стал барьерным, поскольку он проектировался в расчете на максимальную скорость 250 км/ч и электрифицирован на постоянном токе. Для этого в 2008 г. разработан и реализован проект по реэлектрификации на переменный ток. Италия обширно использует технологии наклона поезда на повороте «Pendolino» (ETR 4xx серия).

Компания Treno Alta Velocità строит новую высокоскоростную сеть на маршрутах Милан – Болонья – Флоренция – Рим – Неаполь и Турин – Милан – Верона – Венеция – Триест.

В Германии общая протяженность скоростных железнодорожных линий на 2010 г. составляла 1900 км. Основные направления приведены в (таблица 1.2). Развитие скоростного движения осуществляется в основном за счет реконструкции сети существующих дорог при совмещенном пассажирском и грузовом движении. Основные мероприятия по модернизации – это улучшение плана и профиля, увеличение возвышения наружного рельса в кривых. Первые скоро-

стные магистрали в Германии Мангейм – Штутгарт (99 км) и Ганновер – Вюрцбург (327 км) были введены в эксплуатацию в 1991 г.

Таблица 1.2 – Скоростная и высокоскоростная сеть железных дорог ФРГ

Линия	Длина, км	Год ввода в эксплуатацию	Максимальная скорость, км/ч
Ганновер – Вюрцбург	327	1988 – 1991	280
Мангейм – Штутгарт	99	1991	280
Берлин – Ганновер	264	1998	280
Кёльн – Франкфурт	177	2002	300 (330)

Решение проблемы развития скоростного движения по пути строительства скоростных пассажирских магистралей, имеющих выход на действующую сеть, осуществляется во Франции. По состоянию на 2010 г. суммарная длина скоростных линий составляет 2280 км (таблица 1.3). С 1981 г. эксплуатируется высокоскоростная линия Париж – Лион протяженностью 410 км, обслуживаемая поездами TVG со скоростью 270 км/ч. Эти составы рассчитаны для эксплуатации как на переменном, так и постоянном токе, что позволяет их использовать не только на новой линии, но и на ранее существующих участках с повышенными скоростями до 200 км/ч.

В 1985 – 1989 гг. от Парижа в сторону Атлантического побережья построена вторая высокоскоростная магистраль "Атлантик" (280 км), предназначенная для движения со скоростью 350 км/ч. Затем в период 1992 – 1994 гг. были введены в эксплуатацию высокоскоростная железная дорога "Север", следующая в направлении Бельгии и к тоннелю под Ла – Маншем (332 км), обходная магистраль вокруг Парижа (102 км) и скоростная дорога Рона – Альпы (122 км). В настоящее время во Франции действует 6 высокоскоростных магистралей. За последние 25 лет во Франции построено свыше 1200 километров скоростных магистралей специально для поездов TGV. Кроме того, они используют существующие обычные линии и вокзалы, что очень удобно, т.к. большинство из них находится в центрах городов. В 1990 г. во Франции очередная экспериментальная поездка завершилась установлением мирового рекорда скорости – на скоростемере поезда TGV A3 появились цифры 515,3 км/ч. В 2004 г. был установлен новый рекорд скорости – 570 км/ч.

Таблица 1.3 – Скоростная и высокоскоростная сеть железных дорог Франции

Линия	Длина, км	Год ввода в эксплуатацию	Максимальная скорость, км/ч
Париж – Лион	427	1981/1983	270
Лион – Валанс	83	1994	270
Обход Лиона	38	1992	270
Париж – Ле-Ман/Тур	282	1989/1990	300
Париж – Лилль – Кале/бельгийская граница	333	1993	320
Обход Парижа	104	1995	–
Валанс – Марсель – Монпелье	302	2001	300

Железные дороги Великобритании имеют значительные резервы пропускной способности, поэтому повышение скоростей движения осуществлялось до 2003 г. без строительства новых линий, а за счет реконструкции плана и профиля существующей сети железных дорог. Новая специализированная железнодорожная магистраль была введена в эксплуатацию в 2003 г. длиной 74 км между Западным порталом тоннеля под Ла-Маншем и Лондоном. В 2007 г. было завершено строительство второго участка протяженностью 39 км.

Таким же образом решается проблема повышения скоростей движения на Шведских государственных железных дорогах, где в настоящее время обращаются поезда с максимальной скоростью 140 км/ч. На четырех важнейших линиях внутреннего сообщения Стокгольм – Гетеборг, Стокгольм – Мальме, Стокгольм – Сундсваль, Гетеборг – Мальме введены в эксплуатацию поезда, скорость которых достигает 200 км/ч. Численность населения, проживающего в районе тяготения к этим линиям, составляет 6 млн. человек (все население Швеции около 8 млн. человек). Таким образом, скоростным движением сможет пользоваться 85% всего населения страны.

Самую быструю однопутную скоростную железную дорогу откроют в Швеции. Она будет соединять между собой все города от Умео до Стокгольма, которые располагаются на побережье Ботнического залива. Благодаря этой высокоскоростной линии время, проведенное пассажирами в пути, значительно сократится.

Программа развития железных дорог Испании включает в себя строительство новых линий и реконструкцию существующих железных дорог. В настоящее время страна уверенно входит в число мировых лидеров в области высокоскоростного железнодорожного движения. На 2012 г. протяженность магистралей со скоростным движением составляет 1955 км. 11 октября 2007 г. началась эксплуатация скоростной линии Мадрид – Лерида (470 км). В 2009 г. введен в действие участок от Барселоны до граничной станции Фигерас (135 км). В конечном итоге образовался скоростной маршрут от Лондона или Берлина через Париж, Лион к Средиземноморью, к границе Франции и Испании в Барселону, Мадрид и далее на Лиссабон. В 2005 г. было введено в эксплуатацию ответвление от действующей скоростной магистрали Мадрид – Севилья на Толедо (26 км). В Испании, помимо направления от Мадрида к границе с Францией, реализованы проекты скоростного движения Кордова – Малага (155 км), Мадрид – Вальядолит (194 км). Прокладывается высокоскоростная линия Мадрид – область Валенсия протяженностью 879 км. Строительство ведется в исключительно сложных условиях горной местности. На трассе предусмотрены многочисленные искусственные сооружения. В результате развития высокоскоростного движения на линиях стандартной для Испании колеи 1668 мм решается задача создания связи Мадрида со всеми крупными городами страны со временем в пути не более 4 часов, что значительно сократит использование авиации и автомобильного транспорта.

В Испании компания «Тальго» занимается развитием технологии наклона кузова, которая позволила ее поездам проходить круговые кривые на больших скоростях. В отличие от более современных транспортных средств, таких как итальянский Пендолино или немецкий Айсити (ICE-T), которые применяют компьютерные установки для регулирования наклона поезда, Тальго использует инерцию для сглаживания хода. С введением Тальго маятниковой технологии наклона кузова вагона в 1980 году она стала стандартной для всей продук-

ции компании. Передовые технологии Тальго, развивающиеся в течение многих лет, подготовили ее к серьезной конкуренции на железнодорожном рынке. Благодаря своему выдающемуся «носу», предназначенному для снижения уровня шума, испанцы прозвали модель 350 «rato», что означает «утка». Она стала основой на постоянно расширяющейся сети железных дорог страны, развивая скорость до 328 км/ч. Так же Тальго выпускает дизельный поезд, развивающий скорость 256 км/ч, который называется «XXI» и столь же быстрый «Тальго 250».

Республика Польша планирует в конце 2013 года ввод в эксплуатацию нескольких скоростных линий с использованием скоростного подвижного состава. Планируется приобретение 10 электровозов Siemens EuroSprinter. В долгосрочной перспективе предполагается также построить новую железнодорожную линию, которая соединит Варшаву с Вроцлавом и Познанью.

Высокоскоростные железные дороги Китая. Железнодорожный транспорт Китая, средняя скорость движения которого составляет 200 км/ч и выше. По этому показателю страна обладает наибольшей в мире сетью высокоскоростных железных дорог общей протяженностью более 7055 км, включая участок 1995 км, на котором скорость движения поездов превышает 350 км/ч.

Высокоскоростные дороги включают: модернизированные обычные железнодорожные линии, новые линии, построенные специально для движения высокоскоростных поездов, а также первые в мире коммерческие линии для движения поездов на магнитной подушке. Планируется, что уже к 2020 году суммарная протяженность высокоскоростной железнодорожной сети достигнет 16000 км.

Развитие скоростного и высокоскоростного движения пассажирских поездов в России в период до 2015 года предусматривает поэтапное повышение скоростей движения до 160 – 200 км/час на полигоне сети железных дорог про-

тяженностью более 8 тысяч километров, в том числе на направлениях: Москва – Санкт-Петербург (650 км), Санкт – Петербург – Бусловская (158 км), Москва – Красное (489 км), Москва – Нижний Новгород (342 км), Москва – Ростов (1228 км). К реконструктивным мероприятиям для введения скоростного движения, требующим капитальных вложений, относятся:

- замена кривых малого радиуса на кривые, соответствующие намеченным максимальным скоростям движения пассажирских поездов;
- замена составных кривых на однорадиусные кривые;
- вынос из кривых стрелочных переводов, расположенных на главных путях;
- замена на главных путях обычных стрелочных переводов на скоростные;
- реконструкция искусственных сооружений или по строительству новых искусственных сооружений в связи со сдвижкой пути при переустройстве его плана;
- расширение или перенос пассажирских платформ;
- реконструкция пешеходных мостов и тоннелей;
- усиление и реконструкция систем сигнализации и связи;
- техническое перевооружение и замена устройств систем автоматики и телемеханики;
- реконструкция устройств тягового электроснабжения;
- устройство пересечений в разных уровнях на пересечениях с автодорогами, ограждение линии и другие мероприятия, связанные с обеспечением безопасности движения поездов.

Железнодорожный транспорт России в течение своей 170-летней истории является основой транспортной системы страны, играет системообразующую роль в экономике и укреплении Российского государства.

В конце 1960-х Министерство путей сообщения выпустило поручение, по которому к 1974 году ВНИИЖТ, ГипротрансТЭИ, Мосгипротранс и ЛИИЖТ совместно разработали проект высокоскоростной железной дороги Центр – Юг. Дорога шла от Москвы до Харькова и Лозовой с ответвлениями на Симферополь и Ростов-на-Дону, максимальная скорость поездов на ней планировалась до 250 км/ч. Параллельно был разработан проект по переводу на высокие скорости участка Москва – Ленинград [4].

В 1986 году Советский Союз присоединился к Европейскому Соглашению о магистральных железнодорожных линиях и в 1987 году возобновились работы по проблеме высокоскоростного пассажирского движения. 30 декабря 1988 года Совет Министров СССР приказом № 1474 утвердил программу «Высокоскоростной экологически чистый транспорт», согласно которой, помимо реализации проекта ВСМ Центр – Юг, предусматривалось и создание транспорта на магнитном подвешивании. Максимальная скорость поездов на магистрали теперь составляла бы 300 – 350 км/ч, также разрабатывались планы по расширению сети ВСМ. 23 февраля 1989 года в МПС СССР был объявлен план мероприятий по реализации утверждённой программы, при этом магистраль Центр – Юг теперь имела направление Ленинград – Москва – Крым и Кавказ. В качестве головного участка была выбрана линия Москва – Ленинград. Планировалось в 1993 году начать и к 1998 завершить строительство новой железной дороги от Москвы до Ленинграда с возможным заходом в Новгород. Электрификация дороги предусматривалась на переменном токе частотой 50 Гц и напряжением 25 кВ. Однако, после развала СССР все проекты были закрыты.

Уже в России разрабатывался, строился и испытывался отечественный скоростной поезд «Сокол-250» (рисунок 1.1). В нем были применены многие новаторские идеи. Предполагалось, что он станет этапным перед созданием более скоростного поезда: «Сокол-350» (индексы «250», «350» – ориентировочная максимальная скорость разрабатываемых поездов) который, помимо всего прочего, предполагалось оснащать системой с наклоном кузова для прохождение

ния кривых с высокой скоростью. В ходе испытаний была достигнута скорость в 237 км/ч. Из-за отсутствия финансирования в 2003 году все работы по электропоезду были полностью прекращены.



Рисунок 1.1 – Скоростной поезд «Сокол-250»

В России был разработан комплекс мероприятий по повышению скоростей движения на железнодорожном транспорте, который включает в себя:

1) повышение маршрутных скоростей дальних пассажирских поездов до 70 – 90 км/ч, следующих на расстояния более 700 км. Обслуживание будет осуществляться пассажирскими вагонами со спальными местами;

2) организация скоростного железнодорожного движения после реконструкции действующих линий между крупными региональными центрами скоростными поездами, маршрутная скорость которых находится в пределах до 160 – 200 км/ч, и время поездки не превышает 7 часов. К приоритетным направлениям были отнесены: Санкт-Петербург – Бусловская; Москва – Смоленск – Красное; Москва – Нижний Новгород; Москва – Курск; Москва – Воронеж; Москва – Калуга – Брянск – Суземка; Москва – Ярославль; Ростов – Краснодар; Ростов – Минеральные Воды; Краснодар – Минеральные Воды; Новосибирск – Омск, Томск, Кемерово, Барнаул, Новокузнецк; Екатеринбург – Челябинск; Самара – Саранск, Пенза, Саратов; Саратов – Волгоград; Саратов – Мичуринск;

3) создание высокоскоростных железнодорожных линий, на которых обеспечивается движение со скоростями до 350 км/час: Санкт-Петербург – Москва; Москва – Адлер и др.

Реализация этого проекта на сети железных дорог России позволит осуществлять перевозки пассажиров на 1,5 – 2 тысячи километров практически за то же время, что и авиационным транспортом, при значительно низкой стоимости предоставляемых услуг, высоком качестве и обеспечении надежности и безопасности перевозок.

Организация скоростного и высокоскоростного движения обеспечит поддержание и дальнейшее развитие научно – технического и интеллектуального потенциала России за счет размещения на отечественных предприятиях заказов на создание новых образцов техники мирового уровня.

С 1975 г. между Москвой и Санкт-Петербургом началось регулярное движение скоростных поездов (РТ-200 «Русская тройка»). В период 1984-2009 гг. на этом направлении курсировал поезд ЭР200 со скоростями до 200 км/ч.

В мае 2006 года ОАО «РЖД» и Siemens Transportation Systems подписали соглашение о поставке 8 высокоскоростных поездов, способных развить скорость до 250 км/ч (возможно увеличение до 330 км/ч), а также об их сервисном обслуживании в течение 30 лет или на пробег не менее 14 млн. км.

26 декабря 2008 в г. Санкт-Петербург был представлен первый высокоскоростной электропоезд «Сапсан» производства немецкой компании Siemens. Пробный рейс нового поезда состоялся в начале августа 2009 года, а регулярное сообщение открылось 18 декабря 2009 года.

Летом 2010 года открылось высокоскоростное сообщение на поезде «Сапсан» по маршруту Москва – Нижний Новгород. 12 декабря 2010 года открылось высокоскоростное сообщение на поезде «Allegro» по маршруту Санкт-Петербург – Хельсинки.

В 2018 году в РФ пройдет Чемпионат мира по футболу. В связи с этим планируется реализация проектов строительства скоростных магистралей и всей инфраструктуры по следующим направлениям:

- организация движения по специализированным линиям со скоростями 300-400 км/ч на участках Москва – С.-Петербург, Москва – Н. Новгород и Н. Новгород – Казань с дальнейшим продлением до Екатеринбурга;

- организация скоростного движения с максимальной скоростью до 160-200 км/ч по маршрутам Москва – Харьков – Ростов-на-Дону – Краснодар – Адлер и Москва – Ярославль;

- организация ускоренного движения пассажирских поездов в Нижнем Новгороде, Саранске, Самаре, Волгограде, Казани как между собой, так и с Москвой, а также с центральными регионами Калининграда;

- организация скоростных и ускоренных международных сообщений в целях доставки иностранных туристов к местам проведения турнира по направлениям Москва – Минск – Варшава – Берлин, Москва – Киев, Москва – Рига и Санкт-Петербург – Таллинн.

- организация новых и развитие существующих пассажирских перевозок «аэропорт – город».

Время в пути следования между городами проведения матчей должно составить от 2 до 5 часов с использованием поездов с местами для сидения (Москва, Санкт-Петербург, Ярославль, Нижний Новгород, Ростов-на-Дону, Краснодар, Адлер, Нижний Новгород, Казань, Саранск, Самара. На ряде остальных направлений (Москва – Казань, Саранск, Самара, Ростов-на-Дону, Краснодар) организовывается ускоренное движение комфортабельных ночных поездов со временем следования от 8 до 12 часов.

Предварительные расчеты показывают необходимость в дополнительных 70 парах поездов в период проведения чемпионата мира.

Проблеме повышения скоростей движения на железнодорожном транспорте в странах бывшего СССР посвящено большое число исследований советских ученых: С.В. Амелина, В.И. Ангелейко, Н.И. Бещевой, В.Н. Веденисова, Н.Ф. Вериги, Б.А. Волкова, Н.А. Воробьева, Г.З. Верцмана, А.В. Гавриленкова, О.П. Ершкова, С.С. Жаброва, А.И. Иоаннисяна, С.О. Исмагуловой, И.И. Кантора, А.Д. Каретникова, В.Ю.Козлова, Н.В. Колодяжного, В.А. Копыленко, Ф.П. Кочнева, В.А. Лазаряна, В.С. Миронова, Б.Э. Пейсахзона, Г.С. Переселенкова, С.П. Першина, Л.З. Прасова, Е.А. Рыжик, Е.С. Свинцова, Е.А. Сотникова, И.В. Турбина, Г.И. Черномордика, А.Д. Чернюгова, С.В. Шкурникова, Г.М. Шахунянца и многих других по широкому кругу вопросов. Эти вопросы касались плана и профиля для линий с большими скоростями движения, устройства и содержания пути на прямых участках и в кривых, подготовки пути к высоким скоростям, продольной динамики поездов, выбора веса и скорости пассажирских поездов, установление оптимального уровня средних скоростей в пассажирском и грузовом движении, организации движения высокоскоростных поездов и др. Ниже приводится анализ некоторых исследований по проблемам повышения скоростей движения.

Во второй половине 30-х годов профессор Б.Н. Веденисов на основе экспериментальных данных предложил условия укладки переходных кривых при высоких скоростях движения [4].

Примерно в это же время профессором Г.М. Шахунянцем были рассмотрены вопросы устройства и содержания пути на прямых и кривых участках с учетом особенностей ходовых частей подвижного состава при обычных скоростях и сверхскоростном транспорте [77].

Профессор Черномордик Г.И. предлагает решение проблемы повышения скоростей движения путем создания новых пассажирских локомотивов большей мощности с жесткой тяговой характеристикой, малоизменяющейся от трудности профиля. При этих условиях ходовое время для продольных профилей разной трудности будет примерно одинаковое с небольшим разрывом между максимальной и минимальной скоростями [75].

В.Ю. Козлов [33] в своих работах исследует возможность применения подвижного состава с управляемым наклоном кузова для прохождения кривых, имеющих недостаточный радиус. Такой тип подвижного состава применяется в Германии, Италии, Великобритании.

Вопросу выбора радиуса круговых кривых с целью повышения скоростей движения поездов посвящены исследования О.П. Ершкова, А.И. Иоаннисяна, С.П. Першина и др., в результате которых установлено, что для обеспечения требований, предъявляемых к пассажирскому движению (нормальное взаимодействие пути и подвижного состава и комфортность движения) необходимо соблюдение двух принципов установления минимального радиуса кривой [17, 18, 26]:

- равенство вертикальных силовых воздействий на наружную и внутреннюю рельсовую нити;
- непревышение допускаемого непогашенного поперечного ускорения.

Методикой определения оптимальной технической скорости движения поездов занимались во ВНИИЖТе под руководством Н.И. Бещевой [3], критерием выбора которой являлся минимум стоимости поездо-километра; путями повышения этой скорости – профессор Кочнев Ф.П., который определил два пути повышения указанной скорости [39, 40]:

- использование подвижного состава с большими величинами ускорения и замедления;
- высокие конструкционные скорости тяговых средств.

Профессором Кочневым Ф.П. в работе [39, 40] предложена экономико-математическая модель оптимизации массы и скорости движения пассажирских и грузовых поездов в условиях текущей эксплуатации железнодорожного транспорта на линиях со смешанным движением. Там же рассмотрены вопросы этапного повышения скоростей движения пассажирских поездов, условия перехода к строительству специализированных линий для высокоскоростного движения пассажирских поездов.

Миронов В.С. в своих исследованиях [47] занимался вопросами проектирования высокоскоростных линий в увязке с уровнем скорости движения, предполагаемого в эксплуатации и оптимизации этих скоростей в различных условиях.

Заслуга Н.В. Колодяжного [34] состоит в том, что он в своей работе обобщил научные достижения и практические результаты введения высоких скоростей.

Г.С. Переселенков в [57] в качестве критерия развития железных дорог предложил использовать основной показатель развития и оценки систем – надежность.

Работы И.И. Кантора и В.А. Копыленко [35] посвящены анализу вопросов проектирования трассы (плана и продольного профиля) высокоскоростных дорог и подвижному составу для таких магистралей.

Эффективность скоростных магистралей подтверждается тем, что составляя 0,76% протяженности сети железных дорог мира, они выполняют сопоставимые со всеми железными дорогами объемы пассажирской работы, причем объемы перевозок неуклонно растут (рисунок 1.2). В 2008 г. по данным Международного союза железных дорог (МСЖД), на всех железных дорогах мира было выполнено 2093 млрд. пасс-км, из них на скоростных магистралях – 156,1 млрд. пасс-км, что составляет 7,4% общего объема пассажирской работы [30].

На диаграмме (рисунок 1.3) показано распределение перевозок по высокоскоростным магистралям разных стран в 2008 г. Основной объем работы, выполняемый скоростными магистралями, приходится на Японию (47,8%) [9]. Однако уже в 2012 году объем перевозок пассажиров скоростного железнодорожного транспорта в Китае составил 1,893 млрд. человек. Это на 86,12 млн. человек или на 4,8% больше, чем в 2011 году.

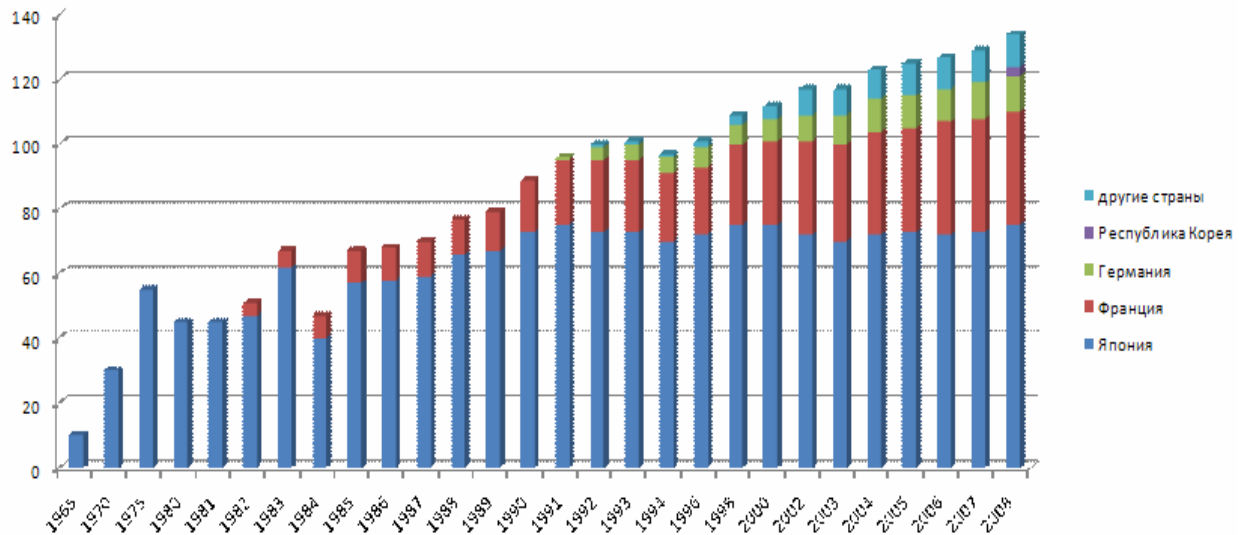


Рисунок 1.2 – Перевозка пассажиров по скоростным железнодорожным магистралям, млрд. пасс-км

Анализ пассажиропотоков на ряде направлений за рубежом показывает, что при продолжительности поездки не более 2 – 2,5 ч доля ВСМ в общем объеме пассажирских перевозок железнодорожным и воздушным транспортом достигает 85 – 90% и более (рисунок 1.4) [29].

Реализация высоких скоростей требует комплексного подхода, зависящего от конкретных особенностей страны и предусматривающего как строительство новых скоростных линий, так и реконструкцию существующих.

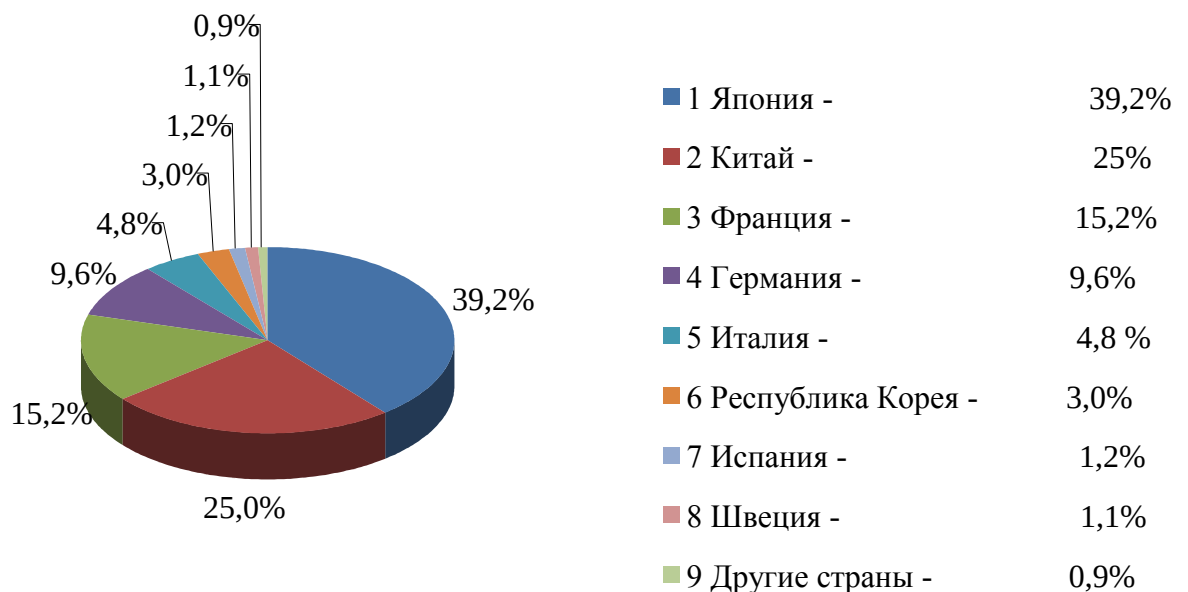


Рисунок 1.3 – Распределение перевозок по скоростным железнодорожным линиям разных стран

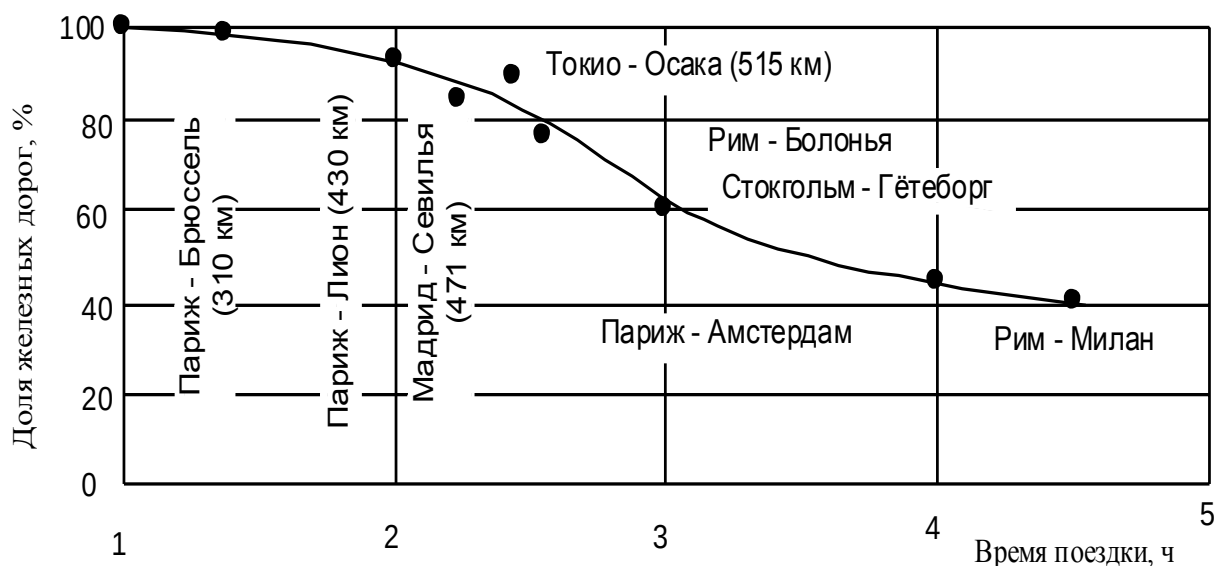


Рисунок 1.4 – Распределение перевозок по скоростным железнодорожным линиям разных стран в зависимости от времени поездки

1.2 Особенности проектирования железных дорог для скоростного движения в Республике Беларусь

Беларусь имеет исключительно выгодное географическое положение в трансъевропейской системе и является связующим и кратчайшим путем между Востоком и Западом. Благодаря этому вклад в валовый внутренний продукт добавленной стоимости транспорта и связи в 2012 г. составил 9,0%. Этим обуславливается его определяющая роль в экономике республики.

Транспортные услуги осуществляются железнодорожным, автомобильным, воздушным, речным и трубопроводным видами транспорта. Кроме того, хорошо развит городской электрический транспорт (трамвай, троллейбус, в Минске – метро). Ведущее положение в транспортной системе республики занимает железнодорожный транспорт.

Белорусская железная дорога – оператор белорусской сети железных дорог. Это государственное объединение, подчинённое Министерству транспорта и коммуникаций Белоруссии. В его состав входит 101 организация, имеющая статус юридического лица, и 3 представительства.

Эксплуатационная длина Белорусской железной дороги (БелЖД) составляет 5,5 тыс. км. В структуре дороги 6 отделений – Минское, Барановичское, Брестское, Гомельское, Могилевское и Витебское. Наиболее значимые железнодорожные узлы – Минск, Молодечно, Орша, Барановичи, Гродно, Волковыск, Лида, Лунинец, Брест, Гомель, Жлобин, Калинковичи, Могилев, Осиповичи, Кричев, Витебск, Полоцк – обслуживают соответствующие центры республики, работая на 2 – 6 направлениях.

Территорию Республики Беларусь пересекают два трансъевропейских коридора, определенные по международной классификации под номером 2 (Запад – Восток) и под номером 9 (Север-Юг) (рисунок 1.5). Транспортный коридор № 9 соединяет Финляндию, Литву, Россию, Беларусь, Украину, Молдову, Румынию, Болгарию и Грецию, пересекает территорию республики с севера на юг и проходит в обход крупных промышленных центров Беларуси – Витебска, Могилева, Гомеля. Протяженность железнодорожных линий транспортного коридора №9 составляет: направление Терюха – Гомель – Витебск – Езерище (489 км); направление Гудогай – Молодечно – Минск – Жлобин (372 км, из которых 185 км – электрифицировано).

Транспортный Общеευропейский коридор №2 Берлин – Варшава – Минск – Москва – Нижний Новгород, соединяющий Германию, Польшу, Беларусь и Россию, определен Европейским Союзом как высший приоритет среди Критских коридоров в связи с важным значением проходящих по нему торговых потоков в сообщении Запад – Восток. В пределах Республики Беларусь железнодорожная линия пролегает по направлению Брест – Минск – Орша – Осиновка. Участок транспортного коридора №2 (Красное (Россия) – Осиновка (Беларусь) – Брест) является двухпутным, полностью электрифицированным и оснащенным устройствами автоматической блокировки, электрической и диспетчерской централизацией.



Рисунок 1.5 – Схема транспортных коридоров, проходящих по территории Республики Беларусь

Средняя скорость движения поездов в Беларуси сегодня одна из самых высоких на постсоветском пространстве. На участках второго и девятого транспортных коридоров грузовые составы могут разгоняться до 100, а пассажирские – до 140 километров в час. Ближайшая скоростная перспектива – 160 километров в час. Для тепловоза это не только слишком быстро, но и неэкономно. Для высоких скоростей нужна электрическая тяга.

Удельный вес грузооборота Белорусской железной дороги в общем грузообороте всех видов транспорта республики в 2012 г. составил 56,7%, пассажирооборот – 35,6%. Основные транспортные потоки проходят в направлениях на восток – в Россию и страны Азиатского региона, на север – в порты Балтийского моря, на запад – в страны Европы и на юг – в страны Черноморского региона. Пограничная инфраструктура дороги на западных границах развита с учетом того, что здесь стыкуются железнодорожные линии с различной шириной колеи. Для обеспечения всего комплекса транспортных услуг дорога имеет на пограничных переходах необходимые обустройства, способные переработать

всю номенклатуру перевозимых грузов. Основные перегрузочные мощности расположены в Брестском и Гродненском ж.-д. узлах.

Для успешной интеграции Белорусской железной дороги в мировой транспортный рынок необходимо развитие скоростного и высокоскоростного пассажирского движения, что позволит поднять качество предоставляемых транспортных услуг на более высокий уровень. Значительное внимание развитию скоростного движения уделено в «Государственной программе развития железнодорожного транспорта Республики Беларусь на 2011-2015 гг.», а также в «Комплексной программе обеспечения эффективного использования транзитных возможностей Беларуси на 2011-2015 гг.» [13].

Роль транспортных сообщений значительно увеличилась в связи с подписанием Таможенного союза Беларуси, России и Казахстана. Президент Российских железных дорог Владимир Якунин особо подчеркнул актуальность организации скоростного пассажирского сообщения на направлении Москва - Минск – Брест.

Одним из приоритетных направлений интеграции Белорусской железной дороги в общеевропейскую транспортную сеть является ее сотрудничество с международными транспортными организациями – Советом по железнодорожному транспорту государств СНГ и стран Балтии, Межправительственной организацией сотрудничества железных дорог (ОСЖД), Международным Союзом железных дорог (МСЖД), Форумом Трейн Европ, Координационным советом по транссибирским перевозкам.

Особенностями условий внедрения скоростного движения в Республике Беларусь являются:

- 1) скоростное движение пассажирских поездов должно быть совмещено с грузовыми перевозками;
- 2) необходимость реализовывать высокие скорости движения на существующих линиях, план которых целесообразно, по возможности, сохранить;

3) внедрение транзитного скоростного движения с выходом в западноевропейские страны (2-й транспортный коридор) сопряжено с необходимостью изменения ширины колеи на пограничных пунктах перехода;

4) необходима электрификация ряда направлений или другие способы усиления мощности линии.

Эффективность скоростного движения на территории Республики Беларусь вполне обоснована, так как расстояния и характер перевозок соответствует факторам, определяющим сферу рационального его применения:

- протяженность направлений, на которых наблюдается наибольшая интенсивность перевозок, соответствует равновеликим затратам времени в сравнении с воздушным транспортом;

- обслуживание скоростными поездами ряда относительно близко расположенных один от другого крупных населенных пунктов, обеспечивающих достаточно большое число пассажиров;

- перевозка большого количества пассажиров, совершающих деловые поездки, и другое.

В настоящее время разрабатываются проекты осуществления скоростного движения в стране. Это планируется осуществить за счет:

- строительства новых путей;

- перевода грузовых поездов на параллельный путь.

Государственная программа развития железнодорожного транспорта Республики Беларусь на 2011 – 2015 гг. включает в себя:

- приобретение тягового и моторвагонного подвижного состава;

- приобретение вагонов (пассажирских – для фирменных поездов, обеспечения новыми вагонами поездов, следующих в прямом и местном сообщении в ночное время; грузовых – для замены выработавших технический ресурс вагонов, в том числе с тележками нового типа);

- электрификация железнодорожных линий (модернизация контактной сети для пропуска грузовых и пассажирских поездов на направлении Молодеч-

но – Минск – Осиповичи, 16 тяговых подстанций, а также электрификация участков Осиповичи – Жлобин, Жлобин – Гомель, Молодечно – Гудогай – государственная граница Республики Беларусь, Жлобин – Калинковичи, Колодищи – Шабаны и Гатово – Михановичи);

– развитие скоростного межрегионального пассажирского сообщения (введение в обращение ускоренных дневных пассажирских поездов, сформированных из комфортабельного моторвагонного подвижного состава).

В настоящее время именно электрификация – один из важнейших инвестиционных проектов Белорусской железной дороги. До 2015 года на магистрали планируется электрифицировать 387 километров путей. В дальнейшем железнодорожники ставят перед собой задачу ежегодно электрифицировать до 200 километров линий.

Проекты по электрификации Белорусской железной дороги предусматривают современное, надежное и безопасное оборудование. Например, внедрение новейших систем управления, диагностики и удаленного мониторинга состояния оборудования в ближайшем будущем позволит обеспечить работу тяговых подстанций без обслуживающего персонала.

При электрификации используется современная контактная подвеска. Это одно из условий увеличения скорости движения поездов до 160 км/ч. Применение новых технологий снижает эксплуатационные затраты и продлевает срок эксплуатации контактной сети.

Одним из пунктов Программы развития является организация между областными центрами и столицей движения пассажирских поездов со скоростью 160 км/ч. Реализация проекта обеспечивает сокращение продолжительности нахождения пассажира в пути между областным центром и г. Минском. Проект предусматривает на межобластных направлениях усиление устройств пути, модернизацию систем сигнализации, связи, электроснабжения, а также приобретение подвижного состава нового поколения.

Оптимизируется и система управления движением поездов. Внедрение современных технологий сигнализации и связи позволяет минимизировать

влияние человеческого фактора на безопасность железнодорожного движения. Разработан проект строительства сети радиосвязи международного стандарта GSM-R. Его главное преимущество – высокое качество связи на высоких скоростях движения. Цифровая радиосвязь увеличивает скорость обработки поездов, повышая тем самым безопасность и эффективность международных грузовых и пассажирских перевозок.

Перспективным направлением на железной дороге является создание комплексной системы управления перевозочным процессом и транспортной логистики. Ее внедрение позволит оперативно планировать поездную работу, минимизировать диспетчерский персонал и автоматизировать управление движением поездов. Все это ведет к экономической эффективности проектов.

На многих объектах Белорусской железной дороги уже внедрена автоматизированная система оформления перевозочных документов.

Также апробируется возможность формировать, передавать и обрабатывать электронные накладные с использованием электронной цифровой подписи. В опытном режиме систему уже протестировали во внутриреспубликанских перевозках. Сейчас аналогичные испытания проходят в формате международных перевозок с Россией.

В перспективе при помощи специализированных информационных систем грузоотправители могут сформировать электронный перевозочный документ, поставить на нем электронную подпись и передать его в Корпоративную информационную систему Белорусской железной дороги.

Одним из важных показателей развития дороги является приобретение нового, более мощного подвижного состава. Тяговый и подвижной состав, который приобретает Белорусская железная дорога, соответствует самым высоким мировым стандартам качества и безопасности. Например, комфортабельные пригородные поезда швейцарской компании «Stadler» (рисунок 1.6).

Современные составы курсируют на городских и региональных линиях. В перспективе продолжится развитие инфраструктуры в направлении Минск – Руденск. В 2015 году поезда «Stadler» свяжут Минск и Смолевичи.

В 2014 г. парк поездов региональных линий пополняется еще 6 составами «FLIRT». От уже курсирующих по железнодорожной магистрали они отличаются большей вместимостью. Если прежде железная дорога закупала четырехвагонные электропоезда, то в новых будет пять вагонов. Соответствующий контракт со швейцарской компанией «Stadler Bussnang» AG Белорусская железная дорога заключила в декабре 2012 года.



Рисунок 1.6 – Электропоезд Stadler

Помимо электропоездов, на магистрали появились и современные одновагонные дизельные поезда ДП1 (рисунок 1.7). Эти составы – совместный проект «Белкоммунмаша», Минского вагоноремонтного завода и польских предприятий. Вагон вместимостью 90 человек движется со скоростью до 120 км/ч. Поездка на таком поезде комфортабельна и экономична. Расход топлива на одного человека втрое меньше, чем у прежнего поколения дизель-поездов. Железная дорога планирует приобрести два одновагонных дизельных поезда и еще два трехвагонных дизель-состава.

Еще одна из перспектив Белорусской железной дороги – развитие международного скоростного пассажирского сообщения в направлении Москва – Брест – Берлин. Это совместная работа с российскими железными дорогами, которая предполагает использование современных вагонов компании «Talgo». Ориентировочно с 2015 года Российские железные дороги планируют запус-

тить по маршруту Москва – Брест – Берлин три пассажирских состава. Вагоны оборудованы автоматическим устройством изменения ширины колеи 1520/1435 мм, что существенно сокращает время прохождения границы. Реализация этого проекта также предусматривает строительство на станции Брест-Центральный переводного устройства. Соглашение между Белорусской железной дорогой и ОАО «Российской железной дорогой» уже подписано в ноябре 2012 года.



Рисунок 1.7 – Дизельный поезд ДП1

Обновление подвижного состава касается и грузовых перевозок. Уже приобретено шесть двухсекционных грузовых электровозов БКГ1 (рисунок 1.8), изготовленных Датунским электровозостроительным заводом (КНР). С помощью этой техники в 2012 году магистраль впервые перевезла железнодорожный состав с общей массой 8000 тонн.

До 2015 года Бел ж.д. намерена закупить 24 пассажирских электровоза, 8 пассажирских тепловозов, 20 дизель-поездов, 29 электропоездов, а также 182 пассажирских вагона.

Новый подвижной состав требует современных подходов и технологий его эксплуатации. В частности, в Барановичах уже запущен автоматизированный технологический комплекс по ремонту колесных пар.



Рисунок 1.8 – Грузовой электровоз БКТ-1

Новейшие технологии также применяются при строительстве и ремонте путей. В 2012 г также в Барановичах запущена автоматизированная линия по сборке рельсошпальной решетки. Ежегодно предприятия Белорусской железной дороги собирают около 400 километров рельсошпальной решетки. Производительность нового оборудования – 100 погонных метров решетки в час. Его внедрение повысило общий уровень механизации цеха до 80 процентов. В целом же замена устаревших технологий в путевом хозяйстве позволяет на 30 процентов оптимизировать рабочий штат и на 40 процентов увеличить производительность труда.

Службой пути и Дорожно-конструкторско-техническим центром разработана новая технология – алюминотермитная сварка рельсов, которую называют «бархатный путь», позволяет ликвидировать рельсовые стыки. Это не только минимизирует шум от стука колес и повышает комфортность поездок для пассажиров, но и позволяет сэкономить до 15 процентов на содержании верхнего строения пути. Кроме того, уменьшается износ колесных пар.

Современные энергетические технологии также приходят на смену неэффективному котельному и электрическому оборудованию. Затраты на импорт дорогостоящих энергоносителей снижаются за счет мини-ТЭЦ и альтернативных источников энергии. Например, для отопления небольших зданий уже используются специальные тепловые насосы. В свою очередь, применение

светодиодных технологий снижает расходы на освещение зданий вокзалов, станций и других служебных помещений.

Современные технологии применяются и при модернизации вокзала станции Минск-Пассажирский. Началась работа в 2013 году. Еще один заметный инвестпроект – строительство пассажирской технической станции Дегтяревка. В 2014 году здесь планируется создать условия для обслуживания подвижного состава Минского вагонного участка, который переместят сюда со станции Минск-Пассажирский. В 2014 году завершена реконструкция железнодорожных вокзалов в Бресте и Гродно.

Сегодня Белорусская железная дорога – это более 5,5 тысячи километров пути, 20 крупных железнодорожных вокзалов, более 570 остановочных пунктов и 500 железнодорожных станций. Маршрутная сеть Белорусской магистрали охватывает более 2000 населенных пунктов. На железной дороге трудятся свыше 86 тысяч сотрудников. Это более 500 профессий и должностей.

Ежегодно Белорусская железная дорога перевозит 100 миллионов пассажиров и 150 миллионов тонн грузов, из них в среднем каждая вторая тонна идет на экспорт. Обеспечивая более 70 процентов грузооборота и обслуживая около 40 процентов пассажиропотока, магистраль дает более двух процентов белорусского ВВП.

Первым этапом включения Минска в европейскую систему скоростных железнодорожных пассажирских сообщений явилась реконструкция железнодорожной магистрали Брест – Минск – Москва. Планируется также повышение скоростей по направлениям между областными центрами [13].

Для обоснования возможности и целесообразности повышения скоростей движения на основном направлении Москва – Берлин проведен краткий анализ маршрутных скоростей и времени хода по каждой из дорог, по которой проходит магистраль (Московской железной дороге, Белорусской железной дороге, Польских железных дорогах и Германских железных дорогах). Данные, приведенные в таблице 1.4, показывают, что Германские железные дороги значи-

тельно выигрывают по скорости у остальных. Следовательно, необходимо задуматься и над повышением скоростей на оставшейся части линии и, в частности, на линии граница РФ – Брест.

Таблица 1.4 - Маршрутные скорости и времена хода по участкам линии Москва – Берлин

Участок	Длина, км	Существующее время хода в одном направлении, t_x , мин	Существующая маршрутная скорость, км/ч
Московская железная дорога			
Москва Бел.- Красное	0 – 487	305	100
Белорусская железная дорога			
Госграница – Минск	490 – 750	179	99
Минск – Госграница	750 – 1099	218	96
Польские железные дороги			
Тересполь – Жепин	1101 – 1783	554	98
Немецкие железные дороги			
Франкфурт на Одре – Берлин Зоол	1806 – 1926	132	122
Итого	1926	1629	

Таким образом, сделав данный анализ, можно отметить, что если бы ходовая скорость на всех дорогах была хотя бы 122 км/ч, то данное расстояние можно преодолеть не за 27 часов, а за 17 ч.

1.3 Использование подвижного состава с наклоном кузова

Внедрение скоростного движения пассажирских поездов, как показывает мировая практика, осуществляют в большинстве случаев на эксплуатируемых железнодорожных линиях. Эти линии были построены по нормам, обеспечивающим максимальные скорости движения до 100-120 км/ч. Поэтому для реализации скоростного движения (200-250 км/ч) необходима реконструкция ряда постоянных устройств. В том числе подлежит переустройству трасса железной дороги, к параметрам плана которой при скоростном движении предъявляют более высокие требования из условия комфортабельной езды пассажиров.

Использование вагонов с наклоном кузова позволяет реализовать при существующем плане более высокие скорости движения и сократить объемы переустройства трассы.

Поезда из вагонов с наклоняемыми кузовами впервые появились в 1970-х годах с целью повышения скорости движения на линиях с кривыми малого радиуса, но их дебют нельзя было назвать успешным. Поезд UAC Turbotrain, введенный в эксплуатацию в 1972 г., находился в обращении на железных дорогах США совсем короткое время. Его модификация в Канаде продержалась несколько дольше, обслуживая маршрут Монреаль — Торонто, но и она оказалась ненадежной. Всего неделю находился в постоянной эксплуатации британский поезд Advanced Passenger Train (APT). Основной причиной неудач с этими поездами была, по-видимому, слишком большая концентрация не отработанных должным образом технических новшеств.

Первым примером подвижного состава, в котором технология наклона кузовов в определенной мере оправдала себя, был шестивагонный электропоезд серии 381, введенный в эксплуатацию в Японии в 1973 г. на маршруте Нагано – Нагоя. Пассивный наклон кузовов вагонов на угол до 6° обеспечивался за счет возможности кузова поворачиваться вокруг продольной оси на роликах, установленных над пневматическими баллонами второй ступени рессорного подвешивания. Однако скоро возникла проблема симптома морской болезни (укачивания пассажиров), и замысел повышения скорости движения со 120 до 130 км/ч на линии колеи 1067 мм, проходящей в гористой местности, остался нереализованным.

Технологию наклона кузовов намеревались использовать прежде всего на поездах региональных сообщений. Для повышения скорости движения поездов на основных направлениях сети был выбран вариант строительства специализированных высокоскоростных магистралей без кривых малого радиуса, где необходимости в такой технологии нет. Однако не отказались и от альтернативного решения – реконструкции действующих линий под скоростное движе-

ние с использованием подвижного состава, в который интегрирована именно указанная технология, должным образом усовершенствованная.

Таким образом, появились поезда Talgo Pendular в Испании (1980 г.), LRC (модернизированный Turbotrain) в Канаде (1982 г.), ETR 450 Pendolino в Италии (1988 г.) и X2000 в Швеции (1990 г.) [22].

В 1990-х годах технология наклона кузовов вагонов достигла такого уровня развития, который позволил ей стать общепринятой и найти применение на железных дорогах около 15 стран, включая 10 стран Европы. Компании – изготовители подвижного состава включают системы наклона кузовов в конструкцию подвижного состава многих серий, предназначенного для обслуживания как региональных, так и дальних сообщений.

В коммерческую эксплуатацию на испанских поездах Talgo Pendular пассивные устройства наклона поступили в 1980 г. Новый подвижной состав этой серии с 1993 г. работает на железных дорогах Германии. Такие поезда нашли применение также в Испании (частично в международном сообщении), а также в США, Канаде и Казахстане. Поезда Talgo 350 и Talgo 250 могут двигаться со скоростью соответственно до 330 и 250 км/ч.

В Швеции в начале 1970-х годов была разработана собственная система наклона кузова. Ее испытания проводили на пригородных поездах в 1986 г. Поезда с активной системой наклона серии X2000 были заказаны компании ADtranz; они находятся в эксплуатации на скоростных линиях с 1990 г. В противоположность итальянским поездам здесь устройствами наклона кузова оборудованы лишь промежуточные немоторные вагоны, в концевых моторных вагонах системы наклона не установлены.

В Германии с начала 1990х годов эксплуатируются дизель-поезда серии VT 610 с такой же техникой наклона кузова, как на итальянских поездах Pendolino. Они были заказаны для региональных линий в областях Франкония и Верхний Пфальц, на которых в то время снизились объемы пассажирских перевозок. Поезда, оборудованные устройствами наклона кузова, способствовали явному сокращению времени поездки, что вызвало приток пассажиров. Компа-

ния ADtranz разработала технические средства наклона, приводимые в действие не гидравлическими цилиндрами, а электрическими серводвигателями. После дизель-поездов серии VT 611 последовала серия VT 612. Эти дизель-поезда эксплуатируются в большом количестве на региональных линиях DB.

Для поездов, вагоны которых оборудованы системами наклона, обеспечивающими прохождение кривых с повышенной скоростью, действуют специальные инструкции. В них оговаривается или скорость движения уровня ES, обусловленная реальным состоянием трассы, или параметры этой трассы, измененные с целью обеспечения заданной скорости движения (например, устранение мест ограничения скорости).

В настоящее время еще нет единых значений этих параметров, применимых для железнодорожных компаний европейской сети. Максимальная скорость движения поездов с вагонами, оборудованными активными системами наклона кузова, на железных дорогах Германии (DB), Австрии (ÖBB) и Чехии (ČD), ограничена величиной, равной 160 км/ч. Однако это ограничение накладывается не системой наклона кузовов, а принятым в этих странах требованием, предусматривающим оборудование линий, на которых разрешено движение поездов со скоростью выше 160 км/ч, непрерывной автоматической локомотивной сигнализацией.

Системы наклона кузовов различаются по сложности и исполнению в зависимости от условий эксплуатации и запросов заказчиков. Пассивные системы наклона проще и дешевле. В этом случае кузов вагона подвешивается таким образом, что при входе в кривую центробежная сила естественным образом отклоняет его в наружную сторону на определенный угол по отношению к вертикали. Для обеспечения возможности наклона кузова его центр тяжести должен находиться ниже точек опирания. В Европе классическим примером такой системы является испанский поезд Talgo. Кузов здесь опирается на пневматические рессоры второй ступени подвешивания, расположенные на стойках, вертикально закрепленных на одноосных тележках, общих для двух смежных сочлененных вагонов, на уровне, близком к крыше. Сжатие баллона,

находящегося с внутренней стороны кривой, позволяет кузову отклониться наружу (рисунок 1.9).

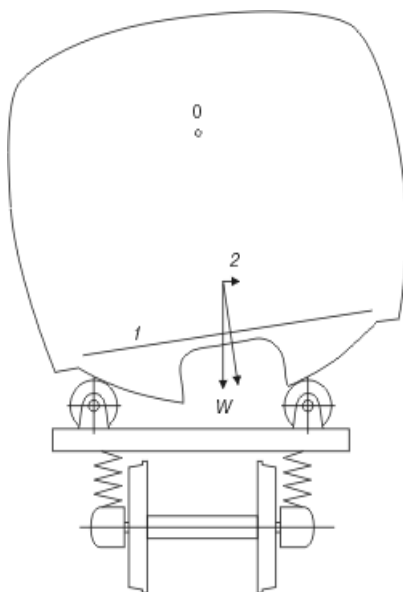


Рисунок 1.9 – Схема пассивной системы наклона кузова вагона:
1– пол кузова; 2 – центробежная сила

Пассивные системы скорее воспринимают, чем преобразуют действующие в кривой силы. Они позволяют обеспечить наклон кузова на небольшой угол, обычно 3- 4°, и могут компенсировать до 45 % поперечного ускорения (поезд Talgo). Однако больший угол наклона позволяет в большей мере повысить скорость прохождения кривых, но это достижимо только с помощью активных систем наклона. Уже активные системы наклона первого поколения существенно продвинули решение проблемы: у британского экспериментального электропоезда ART угол наклона доведен до 9°, а у итальянских поездов семейства Pendolino до 10,5°. Такие углы обеспечиваются применением системы домкратов с приводными устройствами, воздействующими на кузов вагона и принудительно поворачивающими его относительно продольной оси. Перемещение кузова в поперечном направлении при этом происходит по определенной дуге так, чтобы он не выходил за пределы габарита подвижного состава. Для этого необходимо опирание кузова на тележки через качающиеся промежуточные элементы (рисунок 1.10).

Пассивная система наклона кузовов работает независимо, активная должна приспосабливаться к инфраструктуре. Более высокая скорость сокра-

щает время прохода переходных кривых, но чем больше скорость, тем на больший угол следует наклонить кузов вагона. При мощных домкратах наклон кузова можно выполнить достаточно быстро, но при этом должен быть обеспечен требуемый уровень комфорта.

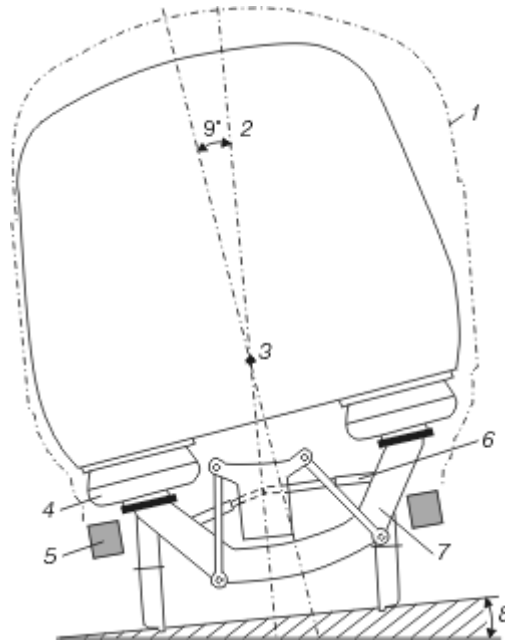


Рисунок 1.10 – Схема активной системы наклона кузова вагона

1- габарит подвижного состава; 2 – угол наклона; 3 – ось наклона; 4 – балон пневматической рессоры; 5 – рама тележки; 6 – домкрат наклона; 7 – поперечная балка тележки

Первоначально при разработке систем наклона кузовов вагонов исходили из принципа полной компенсации поперечного ускорения, и это было достигнуто. Однако оказалось, что при резком изменении положения кузова некоторые пассажиры испытывали ощущение морской болезни. Это отмечалось уже в первых рейсах опытных поездов Pendolino в Италии, причем больше страдали пассажиры, сидящие спиной к направлению движения. Тогда конструкцию кресел изменили, и стало возможным поворачивать их так, чтобы пассажиры всегда могли сидеть лицом по ходу поезда. Это объясняют рассогласованием работы органов зрения и равновесия пассажиров, когда зрение при взгляде в окно дает ощущение наклона, а положение тела соответствует езде по горизонтали, из-за чего в головной мозг поступают противоречивые сигналы. Явление становилось менее заметным, если не смотреть в окно или в темное время суток, когда окружающий ландшафт не виден.

Выход был найден за счет того, что вместо полной компенсации поперечного ускорения ввели частичную компенсацию, т. е. оставили некоторый недостаток возвышения наружного рельса. В поездах из вагонов с наклоняемыми кузовами последней постройки остановились на компенсации 70-80 % поперечного ускорения. При этом сигналы, получаемые мозгом, становятся совместимыми. Кроме того, частичная компенсация позволяет несколько упростить технические решения систем наклона. Угол наклона можно уменьшить, за счет чего увеличить ширину кузова в пределах габарита подвижного состава. В переходных кривых становится ненужным излишнее возвышение наружного рельса, что улучшает уровень комфорта.

В России и странах бывшего СНГ также уже минимум четверть века занимаются данной проблемой многие ученые и испытательные предприятия железнодорожного транспорта. Например, ОАО «ВНИИЖТ» на своем экспериментальном кольце в г. Щербинке проводил испытания поездов с наклоном кузова [7].

Д.В. Ильин в своих работах изучает технологию наклона кузовов вагонов в кривых, в частности, расчет длин переходных кривых на участках обращения пассажирских поездов с полуактивной системой принудительного наклона кузова [22].

В декабре 2010 г. введен в эксплуатацию электропоезд «Аллегро», курсирующий в настоящее время по маршруту Санкт-Петербург – Хельсинки. Вагоны электропоезда оборудованы системой принудительного наклона в кривых до 8°. Предусматривается расширение этого скоростного полигона с включением г. Турку, в том числе за счет строительства участков новой железной дороги. Планируется также на II Трансевропейском коридоре применение электропоезда «Talgo 250»

Электропоезд «Talgo 250»

«Talgo 250» — скоростные электропоезда переменного и постоянного тока, производимые испанской компанией Patentes Talgo S.L. (рисунок 1.11).

Маятниковые составы Talgo Серия 7 запроектированы для движения по путям ширины колеи 1520 мм и 1435 мм. Может эксплуатироваться в нормальных условиях в диапазоне внешней окружающей температуры $+ 50^{\circ}\text{C}$ и $- 20^{\circ}\text{C}$. Две системы управления: ручная и автопилотирования. В любой момент ручное управление станет преобладающим над системой автопилотирования. Система контроля и диагностики всех установок тяги и вспомогательного торможения тяговой головки, формируемой на основе микропроцессоров. Имеет высокую надежность, автоматизацию и очень простой в управлении для персонала, управляющего поездом, и, технического обслуживания.



Рисунок 1.11 – Электropоезд Talgo

Используются трехфазные асинхронные тяговые двигатели, подвешенные на раму тележки.

Электрический тормоз является главной системой торможения, которая действует в приоритетном порядке, чтобы свести к минимуму применение пневматического тормоза. Применяется с максимальной скорости 250 км/ч практически до остановки (10 км/ч).

Электрический тормоз комбинируется с пневматическим тормозом, когда электрический тормоз не способен предоставлять требуемую тормозную мощность. Устройство наблюдения (Dead man's switch) соответствует европейским

требованиям. Легкий корпус состоит из композитных сплавов. Оборудован маятниковой системой, которая при прохождении кривых обеспечивает более высокие скорости движения.

Общая сравнительная характеристика пассажирских поездов приведена в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Сравнительная характеристики подвижного состава для скоростного движения

Характеристики \ Поезда	ЧС-4Т	Stadler	Сапсан	Аллегро	Тальго
Конструктивная скорость, км/ч	160	160	250	250	250
Максимальная скорость в эксплуатации, км/ч	100	138	142	220	179
Вид тяги	электрическая	электрическая	электрическая	электрическая	электрическая
Род тока	переменный	Переменный/ постоянный	Переменный/ постоянный	Переменный/ постоянный	Переменный/ постоянный
Число вагонов в составе, шт	13	4	10	7	9
Пассажиро вместимость, чел	702	260	604	352	257
Тип торможения	Реостатное	Рекуперативное	Рекуперативное		Реостатное
Длина вагона, мм	19980	18800	25535	27200	20000
Длина поезда, м	284,5	75,2	244,47	186	180
Материал вагона	Стальной	Алюминиевый сплав	Алюминиевый сплав	Алюминиевый композитный сплав	Алюминиевый композитный сплав
Масса, т	880	278	678	423	245
Масса подвижного состава на 1-го пассажира, т	1,25	1,07	1,12	1,20	0,95

2 АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБОСНОВАНИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТАХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

2.1 Общая и сравнительная эффективность проектных решений

Оценка эффективности инвестиционных решений – один из главных элементов инвестиционного анализа и является основным инструментом выбора из нескольких инвестиционных проектов наиболее эффективного, совершенствования инвестиционных программ и минимизации рисков.

Методы оценки инвестиционных проектов не во всех случаях едины, так как различны масштабы затрат, сроки их полезного использования, а также полезность результатов.

К мелким инвестиционным проектам, не требующим больших капитальных вложений, а также имеющим относительно небольшой срок полезного использования, применяются простейшие способы расчета.

В то же время реализация более масштабных инвестиционных проектов (новое строительство, реконструкция железных дорог и т. п.), требующих больших инвестиционных затрат, вызывает учет большого числа факторов и, проведения более сложных расчетов, а также уточнения методов оценки эффективности. Чем масштабнее инвестиционный проект и чем больше значительных изменений он вызывает в результатах хозяйственной деятельности предприятия, тем точнее расчеты денежных потоков и методы оценки эффективности инвестиционного проекта.

То обстоятельство, что движение денежных потоков, вызванное реализацией инвестиционных проектов, происходит в течение ряда лет, усложняет оценку их эффективности. С учетом того, что внедрение инвестиционных проектов в течение длительного периода времени оказывает влияние на экономический потенциал и результаты хозяйственной деятельности предприятия, ошибка в оценке их эффективности чревата значительными финансовыми рис-

ками и потерями. Поэтому при перспективной оценке эффективности инвестиционных проектов возникает множество проблем. Избежать или свести их к минимуму в значительной мере поможет выбор наиболее объективных методов оценки эффективности инвестиций.

В настоящее время существует две основные группы методов оценки эффективности инвестиционных проектов, не учитывающие дисконтирование (методы, основанные на расчете сроков окупаемости инвестиций; на определении нормы прибыли на капитал; на расчете разности между суммой доходов и инвестиционными издержками и т.д.) и включающие дисконтирование. Методы, не учитывающие дисконтирование, относятся к статистическим методам оценки эффективности инвестиций. Они опираются на проектные, плановые и фактические данные о затратах и результатах, обусловленные реализацией инвестиционных проектов. При использовании этих методов в отдельных случаях прибегают к такому статистическому методу, как расчет среднегодовых данных о затратах и результатах (доходах) за весь срок использования инвестиционного проекта. Данный прием используется в тех ситуациях, когда затраты и результаты неравномерно распределяются по годам применения инвестиционного проекта.

В результате такого методического приема не в полной мере учитывается временной аспект стоимости денег, факторы, связанные с инфляцией и риском. Одновременно с этим усложняется процесс проведения сравнительного анализа проектных и фактических данных по годам использования инвестиционного проекта. Поэтому статистические методы оценки, не учитывающие дисконтирование, наиболее рационально применять в тех случаях, когда затраты и результаты равномерно распределены по годам реализации инвестиционных проектов, а срок их окупаемости охватывает небольшой промежуток времени – до пяти лет.

Теория абсолютной эффективности капитальных вложений исходит из предпосылки, что реализации или внедрению подлежит такой инвестиционный проект, который обеспечивает выполнение установленных инвестором нормативов эффективности использования капитальных вложений. К таким нормативам относится нормативный срок полезного использования инвестиционного проекта или получение заданной нормы прибыли на капитал. Проект подлежит внедрению, если ожидаемое значение вышеназванных показателей равно или больше их нормативных значений.

Теория сравнительной эффективности капитальных вложений исходит из предпосылки, что внедрению (реализации) подлежит такой инвестиционный проект из нескольких (не менее двух), который обеспечивает либо минимальную сумму приведенных затрат, либо максимум прибыли, либо максимум накопленного эффекта за расчетный период его использования.

Оценка эффективности инвестиций, основанных на дисконтировании, включает следующие показатели:

- чистая приведенная стоимость (чистая дисконтированная стоимость, чистая текущая стоимость);
- внутренняя норма прибыли;
- дисконтированный срок окупаемости инвестиций;
- индекс доходности.

Метод оценки эффективности инвестиционного проекта на основе чистой приведенной стоимости позволяет принять управленческое решение о целесообразности реализации проекта исходя из сравнения суммы будущих дисконтированных доходов с издержками, необходимыми для реализации проекта (капитальными вложениями).

Индекс доходности – это отношение приведенных денежных доходов к приведенным на начало реализации проекта инвестиционным расходам. Если индекс доходности больше 1, то проект принимается. При индексе доходности меньше 1 проект отклоняется.

Внутренняя норма прибыли представляет собой ту расчетную ставку процента (ставку дисконтирования), при которой сумма дисконтированных доходов за весь период реализации инвестиционного проекта становится равной сумме первоначальных затрат (инвестициям). Эту норму можно трактовать как максимальную ставку – процент, под который предприятие может взять кредит для финансирования проекта с помощью заемного капитала.

Наиболее обобщенную оценку эффективности вложения средств в развитие дает экономическая эффективность, которая учитывает все стоимостные и технико-экономические факторы целесообразности капитальных вложений.

При оценке эффективности инвестиционных проектов соблюдаются следующие основополагающих принципов:

- социально-ориентированный подход к экономической оценке эффективности мероприятия;
- сопоставимости сравниваемых инвестиционных проектов по методам исчисления натуральных и стоимостных показателей;
- учета влияния на реализацию инвестиционных проектов таких элементов экономического окружения как инфляция, система налогообложения, участие в реализации проектов различных юридических и физических лиц;
- допустимости при сравнении инвестиционных вариантов включения в расчет только тех элементов результатов и затрат, которые различаются по сравниваемым вариантам.

При оценке инвестиционных проектов учитывают:

- относительно высокие, переменные во времени темпы роста цен, не совпадающие с темпами роста обменных валютных курсов;
- государственное регулирование цен на ряд важных ресурсов для реализации многих инвестиционных проектов;
- отсутствие установившихся рынков, в особенности рынка ценных бумаг и недвижимости;

- значительная неопределенность исходной информации для оценки инвестиционных проектов и высокий риск, связанный с их реализацией.

В качестве денежных критериев при выборе проектных решений в затратной его части используются: капитальные вложения K_t (инвестиционные затраты), эксплуатационные расходы C_t и другие, составляющие в совокупности затраты Z_t [21].

Капитальные вложения включают: стоимость реконструкции железной дороги, стоимость обновления подвижного состава, стоимость груза, находящегося в процессе перевозки.

В эксплуатационные расходы входят: расходы на заработную плату, на электрическую энергию и дизельное топливо, на ремонт технических устройств.

Затраты Z_t охватывают расходование всех денежных средств на реконструкцию железной дороги за некоторый период времени T . Функция затрат Z_t представляет собой распределение капитальных вложений и эксплуатационных расходов во времени.

Доходная часть R_t представляет собой выручку от основной деятельности (грузовых и пассажирских перевозок, перевозок багажа и почты, погрузочно-разгрузочных работ, подсобно-вспомогательной деятельности), реализации материальных ценностей в результате ликвидации основных фондов, вне-реализационных операций (арендная плата от сдачи имущества в аренду, доле-вое участие в совместном предприятии и т.д.) и операций, непосредственно не связанных с производством работ и оказанием услуг.

Общественная эффективность на железнодорожном транспорте рассчитывается на народнохозяйственном, региональном и отраслевом уровнях.

При определении показателей общественной эффективности на народно-хозяйственном уровне в состав результатов включаются как результаты, достигаемые непосредственно на железнодорожном транспорте, так и внетранспорт-ные результаты реализации проектов.

При подсчете затрат учитываются единовременные и текущие затраты всех российских участников реализации проекта, все виды платежей российских предприятий - участников в госбюджет, проценты по кредитам Центрального банка и коммерческих банков - участников проекта.

Затраты рассчитываются по предприятиям - участникам проекта без повторного счета одних и тех же затрат, а также без учета расходов в них участников в составе затрат других участников.

Расчеты общественной эффективности осуществляются при включении в состав результатов прироста выручки предприятий, а также социальных и экологических результатов реализации проекта.

В составляющих общественную эффективность учитывается стоимость грузовой массы «на колесах», а также стоимость пассажиро-часов при изменении времени в пути следования [8].

Коммерческая эффективность на железнодорожном транспорте рассчитывается на отраслевом, дорожном и объектовом уровнях с учетом анализа потока реальных денег от инвестиционной, операционной и финансовой деятельности.

При расчете коммерческой эффективности:

- поток реальных денег от инвестиционной деятельности учитывает затраты на возведение зданий и сооружений, плату за аренду земли, приобретение машин и механизмов, изменение оборотного капитала, ликвидацию основных фондов и т.п.;
- поток денежных средств от операционной (производственной) деятельности включает доходы от реализации продукции и оказания услуг, внереализационные доходы и расходы, текущие издержки, амортизацию зданий и оборудования, налога и т.п.;
- поток денежных средств от финансовой деятельности учитывает краткосрочные и долгосрочные кредиты, акционерный капитал, выплаты дивидендов и т.д.

Для дополнения оценки коммерческой эффективности может быть установлен срок полного погашения задолженности для участников, привлекающих кредитные и заемные средства. Для кредитного учреждения проект считается эффективным, когда срок полного погашения задолженности по кредиту отвечает требованиям этого учреждения. Отрицательное значение сальдо накопленных реальных денег служит обоснованием потребности в заемных средствах в рамках данного инвестиционного проекта.

К показателям общей экономической эффективности проектных решений относят: чистый дисконтированный доход, индекс доходности, внутреннюю норму доходности, срок окупаемости инвестиций.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) представляет собой суммы разностей эксплуатационного эффекта и инвестиционных вложений за расчетный период, приведенных к единому (обычно начальному) году

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^{T_p} (R_t - Z_t) \eta_t, \quad (2.2)$$

где η_t – коэффициент дисконтирования;

T_p – расчетный период (горизонт расчета), год.

Коэффициент дисконтирования или коэффициент приведения разновременных стоимостных показателей при постоянной норме дисконта E равен

$$\eta_t = \frac{1}{(1 + E)^t}.$$

При установлении нормы дисконта E необходимо различать расчеты общественной и коммерческой эффективности инвестиций. Для расчета общественной эффективности используется социальная норма дисконта, устанавливаемая централизованно государственными органами; расчет коммерческой эффективности инвестиций осуществляется с использованием коммерческой нормы дисконта, равной приемлемой для инвесторов норме дохода на капитал.

Все расчеты показателей экономической эффективности альтернатив целесообразно осуществлять в текущих ценах. Учет инфляции при определении показателей эффективности может производиться путем корректировки нормы

дисконта. В этом случае используется вместо величины E модифицированная норма дисконта E_m , равная

$$E_m = \frac{1 + E}{1 + P/E} - 1,$$

где P – прогнозируемый уровень инфляции, %.

Учет факторов неопределенности и риска при оценке эффективности альтернатив целесообразно производить путем корректировки нормы дисконта. В этом случае вместо E должна приниматься более высокая норма дисконта E_p , которая определяется выражением

$$E_p = E + 0,01 \cdot Z.$$

Значения величины Z в соответствии с [78]:

- для инвестиций в инфраструктуру и технику – 3 – 5%;
- в проектах, обеспечивающих увеличение объема существующей продукции и услуг – 8 – 10%;
- для инвестирования производства и продвижения на рынок новых продуктов и услуг – 13 – 15%.

Если ЧДД > 0, то инвестиционный проект признается экономически эффективным.

С использованием изложенных принципов определяется также индекс доходности и внутренняя норма доходности.

Срок окупаемости инвестиций (T_o) представляет собой временной период от начала реализации инвестиционного проекта до того момента, когда ЧДД становится и остается неотрицательным. Это соответствует равенству

$$\sum_{t=0}^{T_o} \Delta_t \cdot \eta_t = \sum_{t=0}^{T_o} K_t \cdot \eta_t. \quad (2.3)$$

Срок окупаемости инвестиций называют также сроком возмещения или возврата инвестиций.

Полученный T_o сравнивают с приемлемым для инвестора сроком возврата вложений (T_n). Когда $T_o \leq T_n$, инвестиционный проект признается экономически эффективным.

Приведенные показатели эффективности инвестиций связаны между собой. Поэтому для определения общей экономической эффективности инвестиций в качестве основных показателей приняты ЧДД и T_0 .

Для сравнения инвестиционных проектов используют следующие показатели сравнительной экономической эффективности: сравнительный интегральный эффект, приведенные строительно-эксплуатационные расходы и срок окупаемости дополнительных инвестиций.

Сравнительный интегральный эффект (Θ_n) определяют так же, как и ЧДД, но с учетом только различающихся по вариантам составляющих затрат. Экономически эффективный вариант инвестиционного проекта соответствует максимальному значению Θ_n .

Приведенные строительно-эксплуатационные расходы (Θ_{np}) используют как показатель сравнения вариантов, имеющих одинаковый объем оказываемых услуг (доход) или реализуемой продукции (в стоимостной форме).

Приведенные затраты в общем случае рассчитывают по формуле

$$\Theta_{np} = \sum_{t=0}^{T_p} K_t \eta_t + (1-\gamma) \sum_{t=0}^{T_p} C_t \eta_t, \quad (2.4)$$

где K_t – инвестиционные вложения в t -ом году;

C_t – эксплуатационные расходы в t -ом году;

γ – доля налоговых отчислений от прибыли.

При госбюджетных инвестициях и определении приведенных затрат для оценки народнохозяйственной сравнительной эффективности величина $\gamma = 0$.

В случае изменения эксплуатационных расходов во времени по линейному закону и одноэтапных инвестиционных вложениях зависимость (2.4) приобретает вид

$$\Theta_{np} = K_0 + \sum_{t=0}^{\infty} (1-\gamma) \frac{(C_0 + bt)}{(1+E)^t} \approx K_0 + (1-\gamma) \int_0^{\infty} \frac{(C_0 + bt)dt}{(1+E)^t} \approx K_0 + (1-\gamma) \frac{C_p}{E},$$

где K_0 – единовременные инвестиционные затраты; C_0 – начальные эксплуатационные расходы; b – параметр, характеризующий прирост эксплуатационных расходов; C_p – эксплуатационные затраты в t_p -й год ($t_p = 1/E$).

При постоянных эксплуатационных (текущих) расходах и одноэтапных инвестициях формула (2.4) имеет вид

$$\Theta_{\text{пр}} = K_0 + (1 + \gamma)C / E.$$

Экономически наиболее эффективным считается тот вариант, у которого $\Theta_{\text{пр}} = \min$.

При выявлении показателей эффективности инвестиций важнейшим вопросом является установление расчетного периода T_p и нормы дисконта E .

Расчетный период или *горизонт расчета* T_p , охватывающий период строительства и длительность эксплуатации объекта, принимается, учитывая точность технико-экономической информации на перспективу, порядка 15 лет. Если срок строительства и службы сооружения, после которого оно не подлежит восстановлению, менее 15 лет, то в качестве расчетного периода T_p принимают срок, равный суммарному сроку сооружения и службы объекта.

При установлении *нормы дисконта* E различают случаи определения общественной и коммерческой эффективности инвестиций, а также учитывается то обстоятельство, что чем выше назначается норма дисконта, тем менее капиталоемкое предприятие подлежит реализации. На железнодорожном транспорте этим обстоятельством предопределяется увеличение этапности наращивания мощности сооружений и устройств, осуществление которых может потребовать выделение окон для проведения реконструктивных мероприятий, переключения части перевозок на окружные направления, приводит к удорожанию строительно-монтажных работ, выполняемых в условиях движения поездов. Снижение величины E в данном случае обеспечивает больший резерв провозной и пропускной способностей железных дорог, что может привести к необоснованному «омертвлению» капитальных вложений.

2.2 Классификация задач по принятию решений в проектах железных дорог

При проектировании железных дорог из-за сложности и многообразия строительных и эксплуатационных условий объекта, во многих случаях, приходится рассматривать большое число вариантов и выбирать из них наиболее рациональный по принятому критерию при заданных ограничениях.

Состав задач и способ их решения классифицируются по различным признакам (рисунок 2.1), в том числе:

- по количеству критериев - одно- и многокритериальные задачи;
- по степени достоверности информации – детерминированные и недетерминированные;
- по временному фактору – статические и динамические.

Однокритериальные статические детерминированные задачи относятся к оптимизационным, т.е. к задачам отыскания экстремума критерия. Методы решения этих задач различаются в зависимости от вида критерия (критериальной функции) [21].

Расчет сравнительной экономической эффективности вариантов с неизменными во времени эксплуатационными расходами выполняется по формуле дисконтированных затрат

$$\Theta = C + E_n K. \quad (2.5)$$

Для выбранного варианта определяется общая эффективность капитальных вложений, которая характеризует общую величину экономического эффекта в сопоставлении как со всеми расходами на его достижение – стоимостью средств труда, предметов труда и рабочей силы, примененных или израсходованных в данном периоде, так и с отдельными видами используемых ресурсов

$$\Theta_n = \frac{Ц - C}{K},$$

где $Ц$ – годовая стоимость перевозок в оптовых ценах по проекту;

C – годовые эксплуатационные расходы (по проекту) после сдачи железной дороги в постоянную эксплуатацию;

K – полная сметная стоимость железной дороги по проекту.

Вариант считается экономически обоснованным, если общая эффективность не меньше нормативной эффективности капитальных вложений E_n , т.е. $\Theta_n \geq E_n$.

Если $\Theta_n < E_n$, то возникает задача выбора варианта железной дороги, размеры перевозок на которой постоянны во времени.

Для того чтобы вычислить критерий – дисконтированные строительно-эксплуатационные расходы, необходимо затраты каждого года t (независимо от того, являются они капитальными вложениями или эксплуатационными расходами) умножить на коэффициент дисконтирования затрат года t , т.е. получить дисконтированные затраты каждого года, а затем их сложить.

Наряду со сравнением вариантов по дисконтированным затратам применяется сравнение вариантов по сроку окупаемости.

Если фактический срок окупаемости меньше нормативного, то предпочтение отдается варианту с большими капитальными вложениями, и наоборот.

Многокритериальные статически детерминированные задачи проектирования. Рассмотренные выше оптимизационные задачи имеют единственную цель – найти минимум (максимум) функции, например суммы затрат. В многокритериальных задачах появляется несколько целей (несколько критериев, которые желательно оптимизировать).

Для облегчения принятия решений в условиях многокритериальных задач существуют несколько методов, которые используют разработчики.

Линейная свертка. Она сводит многокритериальную задачу к однокритериальной. Вместо нескольких частных критериев $W_1, W_2, \dots, W_n$ рассматривается один критерий в виде

$$F = \sum_{i=1}^n W_i \alpha_i,$$

где α_i – некоторые положительные числа (веса), с помощью которых производится соизмерение частных критериев.

Примером линейной свертки является рассмотренный выше критерий «дисконтированные строительно-эксплуатационные затраты», объединяющей два частных критерия: капитальные вложения K с весом 1 и эксплуатационные расходы C с весом $1/E$ (формула (2.5)). Свертка здесь облегчается тем, что размерность и характер оптимизации (минимизация) у всех трех критериев K , C и Δ одинаковы.

Выделение основного критерия. В ряде задач можно выбрать один, основной критерий. Например, в некоторых задачах в качестве основного крите-

рия рассматривается строительная стоимость K , при этом игнорируются эксплуатационные расходы, поскольку изменение их по вариантам пренебрежительно мало, т.е. принимается $\Xi = K$.

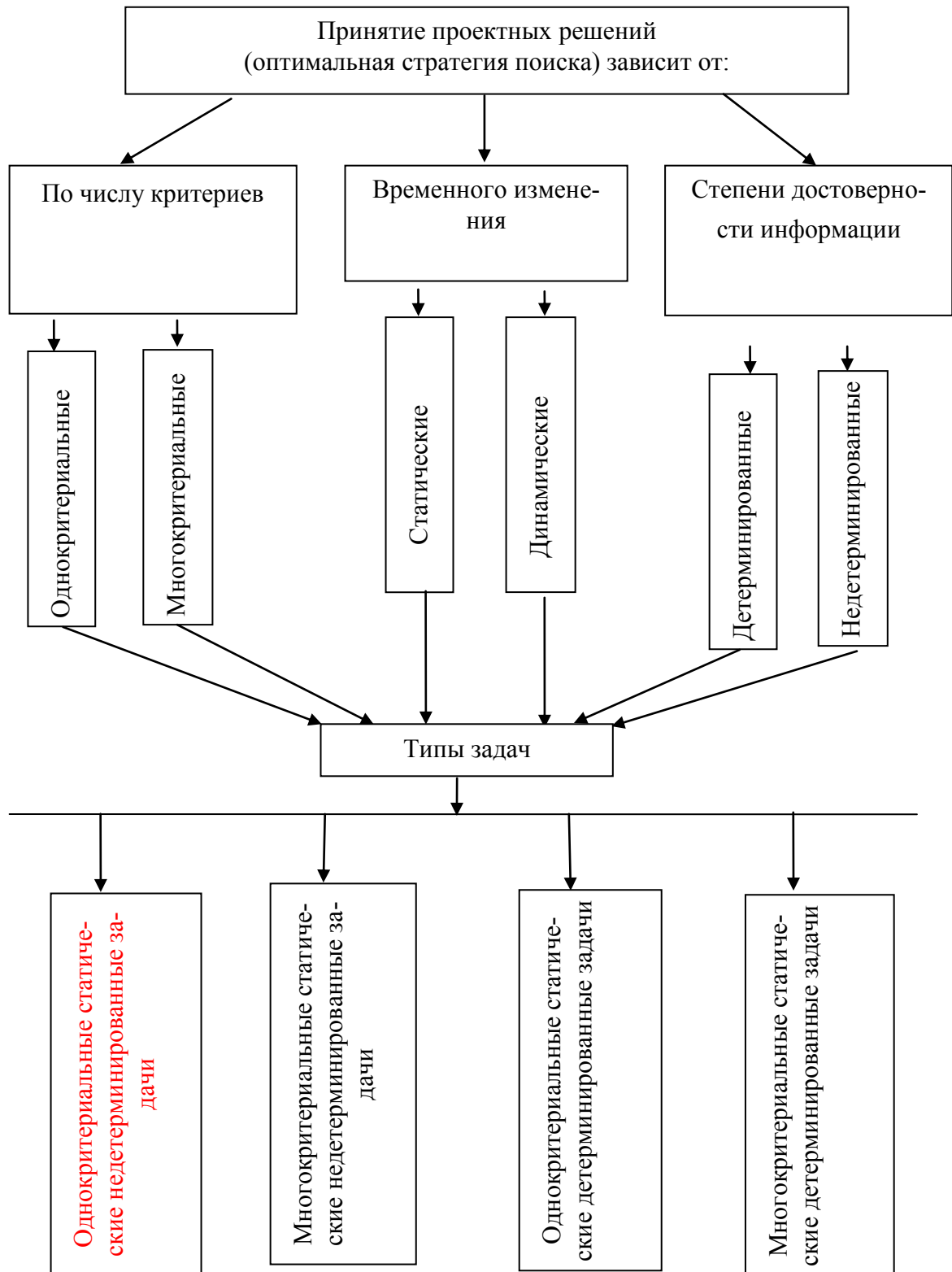


Рисунок 2.1 – Классификация задач по оптимизации проектного решения

Ранжирование вариантов. Под ранжированием понимается отображение вариантов так, чтобы лица, принимающие решения, могли оценить воздействие каждого из них и сделать свой выбор. Таким образом, неопределенность, возникающая в многокритериальных задачах, может быть снижена не только за счет сокращения числа критериев, но и за счет уменьшения числа вариантов решений [21], т.е. их ранжирования.

Однокритериальные статически недетерминированные задачи проектирования. В их основе лежит замена случайных параметров их неслучайными характеристиками, математическим ожиданием, максимальным или минимальным значением, в результате чего недетерминированные задачи сводятся к детерминированным.

Многокритериальные статически недетерминированные задачи. В настоящее время многокритериальные статические недетерминированные задачи наименее разработаны и находятся в стадии становления, хотя именно они наиболее полно отражают реальные ситуации, с которыми сталкивается разработчик проекта железной дороги.

При проектировании железной дороги, как правило, имеется не одна, а несколько целей, зачастую противоречивых, для оценки которых необходимо располагать соответственно не одним, а несколькими критериями, также противоречивыми, т.е. реальные задачи в большинстве своем многокритериальны. Кроме того, планируемые параметры цели подвержены по разным причинам изменениям, что вносит неопределенность в их значения, а значит, делает задачу недетерминированной.

Для изучения многокритериальных статических недетерминированных задач и принятия решения применяются экспертные процедуры.

Основной причиной возникновения проблемы принятия решений является отыскание варианта с оптимальным критерием, помимо которого в процессе принятия решений должны учитываться и другие факторы, понять и оценить которые позволяет теория принятия решений.

Основные положения этой теории:

1. *Множество целей.* В задачах принятия решений обычно имеется несколько целей, как правило, противоречивых, причем не обязательно эти цели имеют формальный характер, как в многокритериальных задачах.

2. *Неопределенность.* В момент принятия решения (выбора варианта) можно только прогнозировать (утверждать с некоторой вероятностью) обстановку, которая сложится в будущем, например, размеры перевозок, как в недетерминированных задачах.

3. *Будущие последствия принятия решения.* Если решение задачи не исчерпывает проблемы, и спустя несколько лет придется принимать очередное решение, то необходимо учитывать, какие возможности могут открыться (или закрыться) в будущем вследствие принятия сегодняшнего решения.

4. *Неформализуемые понятия.* Исторические ценности, эстетические представления, комфортабельность, престиж, настроение и т.д. являются примерами неформализуемых понятий, которые необходимо учитывать, но которые и усложняют задачу.

5. *Проведение аналогий и сравнений.* Сопоставление вариантов с отечественными и зарубежными аналогами и установление соответствия их лучшим мировым образцам являются необходимым элементом процедуры принятия решений.

6. *Социальные, экологические и стратегические аспекты.* В процессе принятия решений при проектировании железных дорог возникают два вида проблем: формальные и неформальные.

Эффективность методов оптимизации и объективность получаемых результатов при решении проектных задач зависят от правильной постановки задачи, ее формализации и выбора соответствующей стратегии поиска.

2.3 Факторы неопределенности при обосновании решений для скоростного движения

Недостоверность информации при принятии проектных решений по реконструкции железной дороги для скоростного движения обусловлены различ-

ными факторами, которые подлежат анализу с учетом индивидуальных особенностей каждого проекта.

Факторы, влияющие на эффективность функционирования рассматриваемого объекта, могут быть *управляемыми или неуправляемыми*.

К неуправляемым факторам можно отнести погодные условия, действия конкурентов и т.д.

В состав управляемых факторов входят такие, на которые лицо, принимающее решения, может влиять по своему усмотрению в процессе планирования и осуществления деятельности. К ним относят, например, факторы, характеризующие способы применения объекта. Из множества управляемых факторов формируются стратегии управления объектом.

При исследовании рисков для рассматриваемого объекта факторы отображают в виде переменных (числовых и нечисловых). С точки зрения информированности исследователя об этих переменных факторы подразделяют на *определенные и неопределенные*.

К определенным факторам относят переменные, значения которых известны исследователю с требуемой точностью. Это различного характера заданные параметры, известные функции определенных аргументов и т. п.

К неопределенным факторам относят переменные, о значениях которых в реальном процессе исследователь осведомлен не полностью. Причина неопределенности этих переменных (факторов) может быть различной. Обычно неопределенные переменные подразделяют на две группы: *случайные переменные и неопределенные переменные нестохастического характера*.

Если распределение случайной переменной (например, в виде функции распределения) известно, то в этом случае говорят, что переменная статистически определена. Случайные переменные с неизвестным распределением подразделяют на два вида: с известными параметрами (характеристиками) распределения и с неизвестными параметрами. При исследовании систем со случайными факторами широко используют вероятностно-статистические методы.

Неопределенные факторы нестохастической природы можно условно разделить на две группы: с *известными и неизвестными функциями принадлежности* (диапазонами изменения переменных).

Очевидно, что подобласть, определяемая функцией принадлежности, в некотором смысле отражает степень неопределенности фактора: чем меньше эта подобласть, тем меньше степень неопределенности фактора.

В пределе функция принадлежности, выделяющая всего одно значение фактора, переводит его в разряд определенных факторов. Наибольшей степенью неопределенности обладают факторы с неизвестными функциями принадлежности. Обычно к ним применяют процедуру экспертного оценивания диапазонов изменений их значений.

Для описания неопределенных факторов нестохастической природы используется аппарат теории нечетких множеств, субъективные вероятности (теория вероятности).

Неопределенность нестохастического характера возникает обычно в результате следующих обстоятельств:

- наличия целенаправленного противодействия со стороны конкурирующей системы, способы действий которой неизвестны исследователю (автору проекта); эту неопределенность поведения конкурента называют поведенческой неопределенностью;
- недостаточной изученности некоторых явлений, сопровождающих процесс функционирования объекта (неопределенность этого типа называют «природной»);
- нечеткого представления цели операции, приводящего к неоднозначной трактовке соответствия реального результата операции желаемому. Такую неопределенность называют целевой.

Исследование рисков с учетом неопределенных факторов нестохастической природы в значительной мере осложняется отсутствием достаточно общей теории (подобно теории вероятностей для исследования случайных явлений), формирующей методологические основания для изучения явлений с не-

определенными факторами. Тем не менее использование теории нечетких множеств, теории игр и теории решений позволяет исследовать риски для рассматриваемого объекта при наличии существенной неопределенности нестохастического характера.

По отношению к изучаемому объекту факторы могут быть *внешними и внутренними*. Внешние факторы отражают влияние внешней среды, способствуя успешному проведению операции (полезные факторы) или, противодействуя успеху операции (вредные факторы). Внутренние факторы отражают взаимовлияние движущих сил внутри объекта на процесс и результат его деятельности.

Внешняя среда – это макроокружение и непосредственное окружение, в котором функционирует объект. Внутреннюю среду образуют персонал организации и ее структура, производство, финансовое обеспечение деятельности.

По источнику выделяют следующие составляющие неопределенности информации:

- «природную», обусловленную неполнотой информации, связанной с тем, что в силу объективных причин не все влияющие на результат решения факторы контролируются и прогнозируются, следовательно, должны рассматриваться как случайные;
- «метрологическую», обусловленную погрешностями в определении (обследовании) значений влияющих факторов;
- поведенческую;
- целевую.

Источником «природной» неопределенности при принятии решений является большое число обстоятельств, учесть которые невозможно, а их совокупное действие приводит к не вполне предсказуемым результатам. «Природная» неопределенность связана с невозможностью предвидения результата деятельности, так как в сходных условиях, вследствие совместного влияния большого числа случайных факторов, результаты одного и того же события могут быть различными.

Источники «метрологической» неопределенности - это неточность информации об объекте принятия решения, например, о ценах, курсах, тарифах, и другое. Такая информация в практической деятельности является разнородной, неточной, неполной и искаженной. Чем ниже качество информации, используемой при принятии решений, тем существеннее возможное отклонение фактического результата деятельности от ожидаемого и выше возможность потерь от ошибочных решений.

Поведенческая неопределенность возникает при наличии конфликтных ситуаций, противоборствующих тенденций, столкновении противоречивых интересов – войны; межнациональных конфликтах; конкуренции; разных позиций в инновационном процессе разработчиков (инициативы), проектировщиков (содействия), пользователей (бездействия), изготовителей (противодействия).

Принятие более рациональных решений в этих случаях требует использования специфического математического аппарата теории игр.

Целевая неопределенность возникает в многоцелевых задачах, требующих многокритериального выбора оптимальных решений. По факторам возникновения неопределенности подразделяются [45]:

- на природные;
- технические;
- экономические (коммерческие), обусловленные изменениями в экономике предприятия или страны. К ним относятся: неопределенность рыночного спроса и предложения, слабая предсказуемость рыночных цен, неопределенность действий партнеров, недостаточность информации о действиях конкурентов и т.д.;
- политические, обусловленные изменением политической обстановки, влияющей на хозяйственную деятельность.

По вероятности наступления рассматриваемого события и возможности ее определения рассматривают три ситуации, широко используемые в практических задачах принятия решений:

- полной неопределенности (например, времени, места и силы негативного события), когда определена лишь область изменения изучаемой величины;
- частичной (вероятностной) неопределенности, если известна, например, частота и, следовательно, вероятность негативного события заданной силы в фиксированном месте. Неопределенность такого характера имеет место, если может быть установлено вероятностное распределение, т.е. существует возможность накопить и обработать большое количество статистической информации, обеспечивающей репрезентативность анализируемых выборок;
- полной определенности, которая является чаще всего допущением, принимаемым для упрощения расчетов.

Принятие решений на основе анализа, выполненного по детерминистским моделям в предположении, что влияющие факторы известны точно, может привести к потерям из-за ошибок, а попытка учета случайного разброса уровней этих факторов значительно усложняет процесс выбора рационального решения.

По отношению к проектной практики.

В работе [19] отмечено: ...«Неопределенность параметров проекта обуславливается следующими факторами:

- неполнота или неточность проектной информации о составе, значениях, взаимном влиянии и динамике наиболее существенных технических, технологических или экономических параметров объектов;
- ошибки в расчетах параметров проекта, обусловленные неправомерной экстраполяцией на будущее данных и зависимостей, имевших место в прошлом;
- ошибки в расчетах финансово-экономических параметров проекта, обусловленные упрощениями или моделированием сложных технических или организационно-экономических систем;
- производственно-технологический риск (аварии и отказы оборудования, производственный брак и т.п.);
- колебания рыночной конъюнктуры, цен, валютных курсов;
- неопределенность целей, интересов и поведения участников;

- неопределенность природно-климатических условий, возможность стихийных бедствий;
- неопределенность политической ситуации, риск неблагоприятных социально-политических изменений в стране или регионе;
- риск, связанный с нестабильностью экономического законодательства и текущей экономической ситуации, условий инвестирования и использования прибыли».

В работе проф. Волкова Б.А. [8], посвященной эффективности инвестиций на железнодорожном транспорте в условиях рынка приведены основные причины недостоверности исходных данных в проектировании: *«Причинами отклонения фактических значений данных от проектных могут служить:*

- погрешность сметных и других исходных материалов;
- недостаточный учет геологических и гидрометрических условий сооружения объекта;
- изменение цен на ресурсы, заработной платы рабочим и служащим;
- несоответствие проектного объема продукции предприятия фактическому;
- отставание темпов освоения тяготеющего к введенной в эксплуатацию железнодорожной линии территориального района;
- недоучет использования других видов транспорта и другие причины».

На выбор технических параметров влияют размеры перевозок на расчетные сроки эксплуатации. Причем величина этих перевозок дается исходя из прогноза, который в свою очередь не всегда оказывается верным. В период стабильного развития экономики и как следствие роста перевозок эта задача решалась исходя из опыта прошлых лет и перспективных планов развития промышленности и сельского хозяйства. Однако и тогда нельзя получить точных данных. Как показывают исследования, проведенные еще в 80-ых годах прошлого века [48, 71] фактические значения грузопотоков значительно отличаются от проектных. В работе проф. А.Е. Гибшмана [11] рассмотрено 15 транзитных и 23 тупиковых линий. В результате было получено, что значения фактических грузооборотов на расчетные сроки эксплуатации имеют существенные отклонения от проектных, причем как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

2.4 Критерии принятия решений в условиях неопределенности

Принятие решений в условиях неопределенности основано на том, что вероятности различных вариантов развития событий неизвестны. В этом случае субъект руководствуется, с одной стороны, своим рисковым предпочтением, а с другой – критерием выбора из всех альтернатив по составленной «матрице решений». Принятие решений в условиях риска основано на том, что каждой ситуации развития событий может быть задана вероятность его осуществления. Это позволяет взвесить каждое из значений эффективности и выбрать для реализации ситуацию с наименьшим уровнем риска.

Необходимость принимать решения, для которых неполностью учтены предопределяющие их условия, а также последующее их влияние, встречаются во всех областях техники, в частности при введении скоростного движения на железных дорогах.

Управление системой, проектирование устройств, планирование деятельности и вообще принятие решений предполагает достижение некоторой цели или последовательное приближение к некоторому наиболее предпочтительному состоянию или поведению.

В случае отсутствия достаточно полной информации возникает неопределённость в принятии решения. Причины этого различны: невозможность получения информации к моменту принятия решения; слишком высокие затраты на получение информации; невозможность устранения неопределённости по причинам объективного характера и т. д.

Планирование всегда связано с факторами неопределенности (информационная неопределённость в отношении будущего). В подобных ситуациях ответственность за принимаемые решения очень велика. Поэтому необходимо оптимально использовать имеющуюся информации относительно поставленной задачи, чтобы, взвесив все возможные варианты решения, постараться найти среди них наилучший.

Принятие решений в условиях неопределённости связано с *риском* (возможной опасностью) принятия неэффективных решений, не обеспечивающих достижения намеченных целей.

С целью уменьшения неблагоприятных последствий в каждом конкретном случае учитывается степень риска и имеющаяся информация. Здесь *лицо принимающее решение* (ЛПР) - экономист, статистик, управленец или другое конкретное физическое лицо вступает в игровые отношения с абстрактным лицом (ситуацией, складывающейся независимо от ЛПР, на которую он не может оказывать влияния). ЛПР должно уметь находить управленческое решение, когда абстрактное лицо не выбирает сознательно свои оптимальные стратегии.

Задачей ЛПР является принятие наилучшего управленческого решения в каждой конкретной ситуации, умение использовать даже неполную информацию для обоснования принимаемых решений. Качество принимаемого решения зависит от информированности ЛПР о ситуации, в которой принимается решение.

Риски всегда возникают при формировании любого управленческого решения, когда результат невозможно точно предсказать. Риски по экономической сущности рассматриваются как возможность потери или получения определенных выгод, имеющих случайную природу.

Различают три возможных ситуации выбора [45]:

- выбор в условиях определенности, когда результат решения обусловлен факторами, которые могут быть количественно оценены и результат предусмотрен заранее;
- выбор в условиях риска, когда результат точно нельзя предсказать, но известно о возможном распределении вероятностей наступления того или иного результата решения;
- выбор в условиях неопределенности, когда результат решения является непредсказуемым и отсутствует информация о вероятности наступления следствия решения.

Риски не является синонимом неопределенности, но они возникают именно в условиях неопределенности и именно из-за необходимости предприятия сделать выбор при формировании управленческого решения, исходя из определенных прогностических параметров выбор.

В условиях неопределенности и риска важны не только знания возможных последствий любого решения, но и информация о вероятности их на состояние.

Принятие решений представляет собой выбор одного из некоторого конечного (обычно небольшого) множества вариантов

$$E_i \in E \quad (i = \overline{1, m}),$$

где E – множество вариантов решений (стратегий) ЛПР.

Каждым вариантом E_i однозначно определяется некоторый результат e_i . Эти результаты допускают некоторую количественную оценку. Эти оценки отождествляются с соответствующими результатами, обозначая их одним символом e_i . Находится вариант решения с наибольшим значением e_i , полагая, что e_i характеризует такие величины как полезность, выигрыш, надежность или прибыль. Противоположную ситуацию с оценкой затрат или потерь можно исследовать путём минимизации оценки или, как это чаще делается, с помощью рассмотрения отрицательных величин полезности.

Таким образом, выбор оптимального варианта производится с помощью критерия

$$E_o = \{E_{io} \mid E_{io} \in E \wedge e_{io} = \max_i e_i\}. \quad (2.6)$$

Процедура выбора в случае нескольких внешних состояний может быть представлена по аналогии с применением критерия (2.6). При этом каждому варианту E_i приписывается некоторый результат e_{ir} , характеризующий все последствия этого решения. Проблема в том, какой смысл вложить в результат e_{ir} . Выбор e_{ir} математически определяется *оценочной (целевой) функцией*. Существуют различные оценочные функции, которые принимают во внимание позиции принятия решений ЛПР.

Компромиссная позиция заключается в том, что последствия каждого из альтернативных решений характеризовать комбинацией из его наибольшего и наименьшего результатов, то можно принять:

$$e_{ir} = \min_j e_{ij} + \max_j e_{ij}, \quad (2.7)$$

наилучший в этом смысле результат имеет вид

$$\max_i e_{ir} = \max_i (\min_j e_{ij} + \max_j e_{ij}). \quad (2.8)$$

Определяя желаемый результат, ЛПР исходит из компромисса между оптимистическим и пессимистическим подходами.

Оптимистическая позиция следуя которой ЛПР становится на точку зрения азартного игрока, делая ставку на то, что при любом его решении внешняя среда будет находиться в максимально благоприятном состоянии

$$\max_i e_{ir} = \max_i (\max_j e_{ij}). \quad (2.9)$$

В **позиции нейтралитета** ЛПР исходит из того, что все встречающиеся отклонения результата решения от "среднего" случая допустимы, и выбирает решение, оптимальное с этой точки зрения.

$$\max_i e_{ir} = \max_i \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_{ij} \right\}. \quad (2.10)$$

Пессимистическая позиция ориентируется на то, что выпадет наименее благоприятный случай и приписывает каждому из альтернативных вариантов наихудший из возможных результатов. После этого ЛПР выбирает самый выгодный вариант, т.е. ожидает наилучшего результата при наихудшем состоянии внешней среды

$$\max_i e_{ir} = \max_i (\min_j e_{ij}). \quad (2.11)$$

Позиция относительного пессимизма заключается в том, что для каждого варианта решения ЛПР оценивает потери по сравнению с определённым по каждому варианту наилучшим результатом, а затем из совокупности наихудших результатов выбирает наилучший согласно данной оценочной функции

$$\max_i e_{ir} = \min_i (\max_j (\max_i e_{ij} - e_{ij})). \quad (2.12)$$

Существуют и другие приемы принятия решений в условиях неопределенности. Использование тех или иных приемов зависит от условий эксплуатации. Если они заранее не известны и (или) не допускается риск, ориентируются обычно на наименее благоприятную ситуацию. Нередко применяют также функции (2.10) и (2.12). Оценочная функция (2.9) соответствует поведению азартного игрока и поэтому в экономических и технических приложениях не применяется. Выбор критерия (оценочной функции) определяется исключительно позицией ЛПР.

В случае m вариантов решений $E_1, E_2, \dots, E_m$ и n внешних состояний $F_1, F_2, \dots, F_n$ критерий принятия решения можно представить в виде

$$\max K(e_{i1}, \dots, e_{in}), i = 1, \dots, m \quad \text{или} \quad \min K(e_{i1}, \dots, e_{in}), i = 1, \dots, m.$$

Всякое техническое или экономическое решение в условиях неполной информации принимается в соответствии с какой-либо оценочной функцией. При этом выбор оценочных функций всегда осуществляется с учётом анализа ситуации, в которой принимаются решения. От этого зависит качество принимаемых решений.

Существует несколько классических критериев принятия решений в условиях неопределенности и риска [45].

Критерий Байеса-Лапласа (BL-критерий). Пусть q_j – вероятность появления внешнего состояния F_j , причём $\sum_{j=1}^n q_j = 1$, тогда для критерия Байеса-Лапласа оценочная функция примет вид:

$$z_{BL} = \max_i e_{ir} = \max_i \sum_{j=1}^n e_{ij} q_j, \quad (2.13)$$

то есть

$$E_0 = \{E_{io} | E_{io} \in E \wedge e_{io} = \max_i \sum_{j=1}^n e_{ij} q_j \wedge \sum_{j=1}^n q_j = 1\}. \quad (2.14)$$

В случае, когда вероятности состояний природы правдоподобны, для их оценки используют *принцип недостаточного основания Лапласа*, согласно ко-

торому все состояния внешней среды полагаются равновероятными, т.е. $q_1=q_2=q_3=\dots=1/n$. Оптимальной считается стратегия, обеспечивающая максимум среднего выигрыша.

Применяют критерий, если ситуация характеризуется следующим образом:

- вероятности появления состояний F_j известны и не зависят от времени;
- решение реализуется (теоретически) бесконечно много раз;
- для малого числа реализаций решения допускается некоторый риск.

Если вероятности состояний внешней среды неизвестны, то для выбора оптимального решения можно использовать несколько критериев, при этом важно учитывать ситуацию принятия решения.

Минимаксный критерий (ММ–критерий, критерий Вальда). Этот критерий использует оценочную функцию, соответствующую позиции крайнего пессимизма:

$$z_{MM} = \max_i e_{ir} = \max_i (\min_j e_{ij}), \quad (2.15)$$

то есть множество оптимальных решений E_0 определяется соотношением

$$E_0 = \{E_{io} | E_{io} \in E \wedge e_{io} = \max_i (\min_j e_{ij})\}. \quad (2.16)$$

Выбранные таким образом варианты полностью исключают риск. Однако это достоинство стоит некоторых потерь. Применение ММ–критерия бывает оправдано, если ситуация характеризуется параметрами:

- о возможности появления состояний F_j ничего не известно;
- решение реализуется один или очень малое число раз;
- необходимо исключить какой бы то ни было риск.

Критерий Севиджа (S–критерий, критерий минимального риска).

Оценочная функция критерия Севиджа имеет вид

$$z_S = \min_i e_{ir} = \min_i (\max_j (\max_i e_{ij} - e_{ij})). \quad (2.17)$$

и множество оптимальных вариантов решения строится следующим образом:

$$E_0 = \{E_{io} | E_{io} \in E \wedge e_{io} = \min_i e_{ir}\}. \quad (2.18)$$

Величина $a_{ij} = \max_i e_{ij} - e_{ij}$ понимается как дополнительный выигрыш, если вместо варианта E_i в состоянии F_j выбрать другой, оптимальный для этого состояния результат.

Условия для применения критерия Севиджа:

- о возможности появления состояний F_j ничего не известно;
- решение реализуется один или очень малое число раз;
- допускается незначительный риск.

Кроме классических критериев для принятия решений в условиях неопределенности и риска используются расширенный минимаксный критерий, критерий произведений (Р–критерий), составной BL(MM)-критерий, производные критерии Ходжа–Лемана (HL–критерий), Гурвица (HW–критерий) и Гермейера (G–критерий).

Критерий произведений (Р–критерий) применяется при принятии решения в условиях неопределенности. Это более нейтральный критерий по сравнению с принципом максимина и критерием азартного игрока. Критерий произведений производит некое «выравнивание» между большими и малыми значениями Ξ_{ij}

$$\min_i \prod_{j=1}^N \Xi_{ij}.$$

Критерий Ходжа-Лемана привносит фактор определенной субъективности при принятии решения. Решение принимается в условиях риска. Однако у ЛПР есть некое недоверие к распределению вероятностей состояний окружающей среды. Поэтому ЛПР вводит некий «коэффициент доверия» l к вероятностям состояний окружающей среды ($j=0$) ÷ ($j=1$). Чтобы сильно не рисковать, обычно таким коэффициентом принимается 0,4. Этот коэффициент ещё называется уровнем оптимизма.

Показатель эффективности стратегии A_i по критерию Ходжа-Лемана находится по формуле

$$\min_i \left[\nu \sum_{j=1}^n p_j \cdot e_{i,j} + (1 - \nu) \max_j e_{i,j} \right].$$

Критерий Гурвица заключается в том, показатель эффективности стратегии при котором находится где-то между точками зрения крайнего оптимизма (критерий азартного игрока) и крайнего пессимизма (критерий максимина). Для этого вводят некий коэффициент ν – уровень пессимизма. Выбор уровня пессимизма – процесс субъективный. Чаще всего его выбирают равным либо 0,6 либо 0,5. После этого показатель эффективности стратегии A_i по критерию Гурвица находится по формуле

$$\min_i \left[\lambda \max_j e_{i,j} + (1 - \lambda) \min_j e_{i,j} \right].$$

Критерий Гермейера применяется в основном для решения задач выбора для оптимизации величины потерь или затрат. Матрица потерь, задаваемая в условии, будет содержать отрицательные элементы (потери выражаются отрицательными величинами)

$$\min_i \max_j p_j \cdot e_{i,j},$$

где p_j - вероятности внешних состояний F_j , ($j=1, 2, \dots, n$), $\sum_{j=1}^n q_j = 1$.

Интегральный вероятностный критерий (ИВК) предложен в развитие критерия **Байеса – Лапласа**. Вместо принципа недостаточного основания Лапласа, предполагающего, что все варианты внешних расчетных условий равновероятны, в ИВК, 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.

2.5 Постановка задачи исследования

Анализ теории и опыта эксплуатации пассажирского транспорта в различных странах мира показывает устойчивую тенденцию увеличения скоростей движения поездов. При этом можно выделить два варианта внедрения высоких скоростей:

- реализация высокоскоростного движения на новых специализированных магистралях;
- введение скоростного движения на существующих линиях со смешанными грузовыми и пассажирскими перевозками.

При переходе на скоростное движение пассажирских поездов существующие линии подлежат реконструкции постоянных устройств. Кроме того, имеет место внедрение модернизированного или специального подвижного состава для пассажирского движения.

В составе переустройства постоянных сооружений наиболее капиталоемким мероприятием является реконструкция плана линии для обеспечения комфортабельной езды пассажиров. Объем реконструкции плана можно существенно сократить за счет использования специального подвижного состава с наклоном кузова вагонов.

В связи с увеличением съема грузовых поездов пассажирскими мощность существующих линий оказывается недостаточной. Необходимы меры по увеличению пропускной и провозной способности существующей железной дороги.

При обосновании проектных решений по выбору наиболее рациональных параметров реконструкции железных дорог под скоростное движение большое значение, особенно в рыночных условиях, приобретает необходимость учета неполноты и недостоверности исходных данных об условиях строительства и эксплуатации дороги.

В диссертационном исследовании предполагается разработать методику технико-экономического обоснования параметров реконструируемой железной

дороги для скоростного движения пассажирских поездов с учетом неопределенности исходной информации.

Для этого необходимо установить структуру критерия эффективности выбора технических параметров, выполнить анализ общих критериев, используемых для принятия решений в условиях неопределенности и определить наиболее подходящий из них для рассматриваемой задачи.

Наряду с этим предполагается исследовать влияние вагонов с наклоном кузова на требуемую величину радиуса круговых кривых и другие элементы плана трассы и определить способ расчета стоимости пассажира-часа для расчета критерия эффективности реконструкции железной дороги под скоростное движение в современных условиях.

3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВНЕДРЕНИЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВАГОНОВ С НАКЛОНОМ КУЗОВА

3.1 Обоснование параметров плана железной дороги с учетом использования вагонов с наклоном кузова

К параметрам плана трассы железных дорог для скоростного пассажирского движения предъявляются повышенные требования. В частности, это касается трех элементов плана: круговых и переходных кривых, прямых вставок между смежными кривыми.

3.1.1 Радиусы круговых кривых

Величина радиуса круговых кривых обуславливает безопасность и плавность движения, комфортабельность поездки и самочувствие пассажиров, а также износ верхнего строения пути и подвижного состава и другие технико-экономические показатели.

При движении экипажа по кривой на него действует центробежная сила, направленная по радиусу от центра кривой.

Эта сила прижимает экипаж к наружной нити, затрудняет его поворот и увеличивает вертикальное давление на наружный рельс. В результате возрастает износ наружного рельса.

Центробежная сила действует на пассажиров, ухудшая комфортабельность езды. Эти условия и определяют величину радиусов круговых кривых.

Обеспечение равномерного износа рельсовых нитей.

Для равномерного износа рельсов необходимо обеспечить одинаковое вертикальное воздействие на обе нити рельсов. С этой целью устраивают возвышение наружного рельса h . На рисунке 3.1 показана расчетная схема определения величины возвышения из условия одинакового давления на обе нити рельсов [76].

Из равенства суммы моментов

$$(I \cos \beta - G \sin \beta)a = 0,5(E_B - E_H)S,$$

где I – центробежная сила; β – угол наклона вагона, обусловленный возвышением наружного рельса; G – вес вагона; a – расстояние от уровня головок рельсов до центра тяжести, м; E_H , E_B – нормальные реакции наружного и внутреннего рельса в кривой; S – расстояние между точками опоры колес на рельсы.

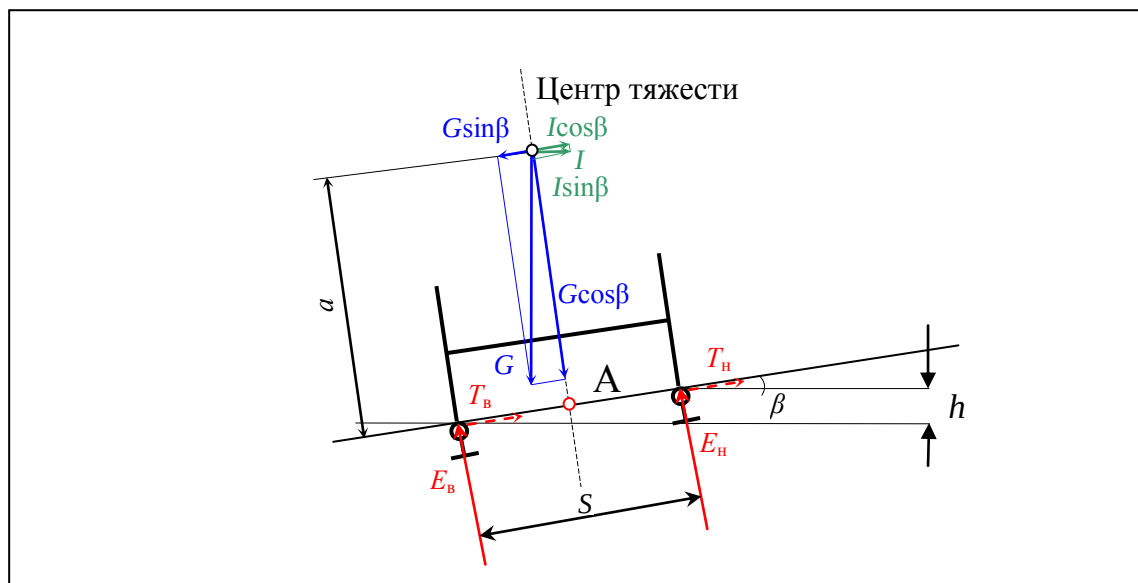


Рисунок 3.1 – Схема расчета возвышения для обеспечения одинакового износа рельсов при обычном подвижном составе

Допущения: $\cos \beta \approx 1$; $\sin \beta = \tan \beta$. Центробежная сила определяется по формуле

$$I = \frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R}.$$

Тогда

$$\left(\frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R} - G \frac{h}{S}\right) = 0,5(E_B - E_H)S; E_B - E_H = \left(\frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R} - G \frac{h}{S}\right) / (0,5S) = 0;$$

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{v^2}{R} - \frac{h}{S} = \frac{v^2}{R} - \frac{g \cdot h}{S} = 0,$$

где v – скорость движения поезда в м/с.

Наряду с этим, необходимо внести ряд поправок, учитывающих влияние продольных сил, эксцентриситетов расположения колесных пар в колее и др.

В окончательном виде возвышение для уравнивания сил воздействия на наружную и внутреннюю нити рельсов рекомендуется определять по формуле

$$h = \frac{1,6 \cdot v^2}{g \cdot R} = \frac{1,6 \cdot 1000 \cdot v^2}{3,6 \cdot 3,6 \cdot 9,81 \cdot R} = \frac{12,5 \cdot V_{cp}^2 \cdot K}{R}, \text{ мм} \quad (3.1)^1$$

¹ В действующих нормативных документах коэффициент, увязывающий размерности величин равен 12,5, точное значение -12,585. Округление в меньшую сторону в некоторой степени компенсирует допущение $\cos \beta = 1$.

где K – коэффициент, учитывающий названные выше поправки; $V_{\text{ср}}$ – средневзвешенная по пропущенному тоннажу скорость движения потока поездов, км/ч; для скоростного движения $K=1,2$.

При использовании подвижного состава с наклоном кузова во время движения по кривому участку пути появляется дополнительный угол α (рисунок 3.2), вследствие чего может иметь место смещение центра тяжести.

Угол наклона вагона может достигать существенных значений, например, у испанских поездов с наклоном кузова Talgo угол доведен до 8° .

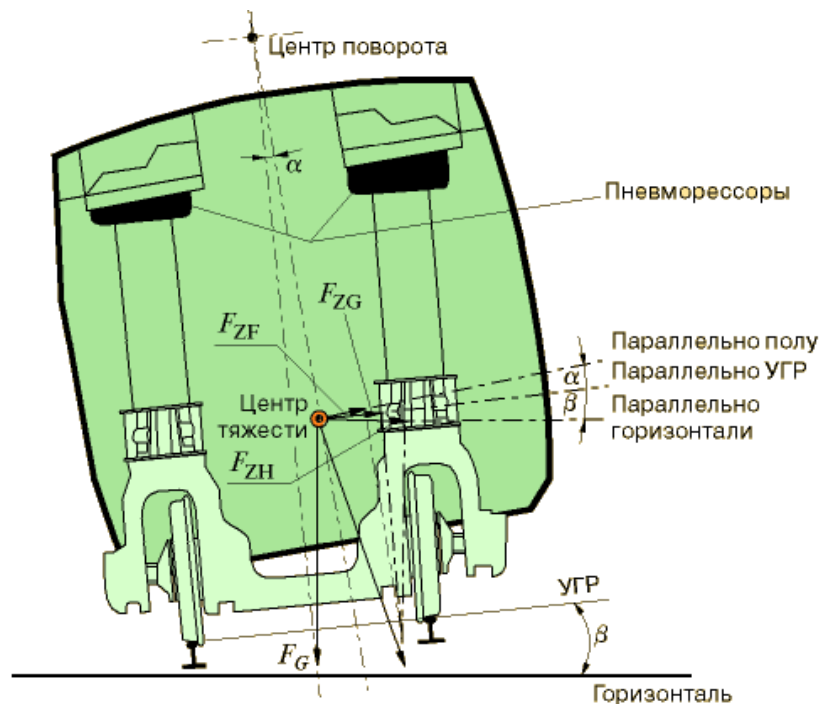


Рисунок 3.2 – Кинематика системы наклона кузова в поезде Talgo:

F_{ZF} — поперечная сила, действующая параллельно полу вагона; F_{ZG} — то же, параллельно уровню головки рельсов; F_{ZH} — то же, параллельно горизонтали; F_G — сила тяжести

Схема приложения сил в этом случае показана на рисунке 3.3.

Уравнение моментов относительно точки А (пересечение оси пути и линии уровня головки рельсов)

$$(I \cos \beta - G \sin \beta)a + (G \cos \beta + I \sin \beta)e = 0,5(E_b - E_h)S; \quad I = \frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R};$$

$$\left(\frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R} - G \frac{h}{S}\right)a + \left(G + \frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \frac{h}{S}\right)e = 0,5(E_b - E_h)S;$$

$$E_b - E_h = \left[\left(\frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R} - G \frac{h}{S}\right)a + \left(G + \frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \frac{h}{S}\right)e\right] / (0,5S) = 0;$$

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{1}{g} \cdot \frac{v^2}{R} - \frac{h}{S}\right)a + \left(1 + \frac{1}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \frac{h}{S}\right)e = 0; \\
& \left(\frac{1}{9,81} \cdot \frac{v^2}{R} - \frac{h}{1,6}\right)a + \left(1 + \frac{1}{9,81} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \frac{h}{1,6}\right)e = 0; \\
& h = \frac{1,6(a \cdot v^2 + e \cdot g \cdot R)}{a \cdot g \cdot R - v^2 \cdot e}, \text{ м} = \frac{1,6(a \cdot v^2 + e \cdot g \cdot R)}{a \cdot g \cdot R - v^2 \cdot e}, \text{ м}; \\
& h = \frac{1,6 \cdot 1000(a \cdot V^2 / (3,6 \cdot 3,6) + e \cdot 9,81 \cdot R)}{a \cdot 9,81 \cdot R - V^2 / (3,6 \cdot 3,6) \cdot e} = \frac{1600 \cdot (a \cdot V^2 / 12,96 + e \cdot 9,81 \cdot R)}{a \cdot 9,81 \cdot R - V^2 \cdot e / 12,96} = \\
& = \frac{123,456 \cdot a \cdot V^2 + 15696 \cdot e \cdot R}{9,81 \cdot a \cdot R - V^2 \cdot e / 12,96} = \frac{12,585 \cdot a \cdot V^2 + 1600 \cdot e \cdot R}{a \cdot R - 0,00787 \cdot V^2 \cdot e}; \\
& h = \frac{12,585 \cdot a \cdot V^2 + 1600R \cdot e / a}{R - 0,00787 \cdot V^2 \cdot e / a}, \text{ мм}
\end{aligned} \tag{3.2}$$

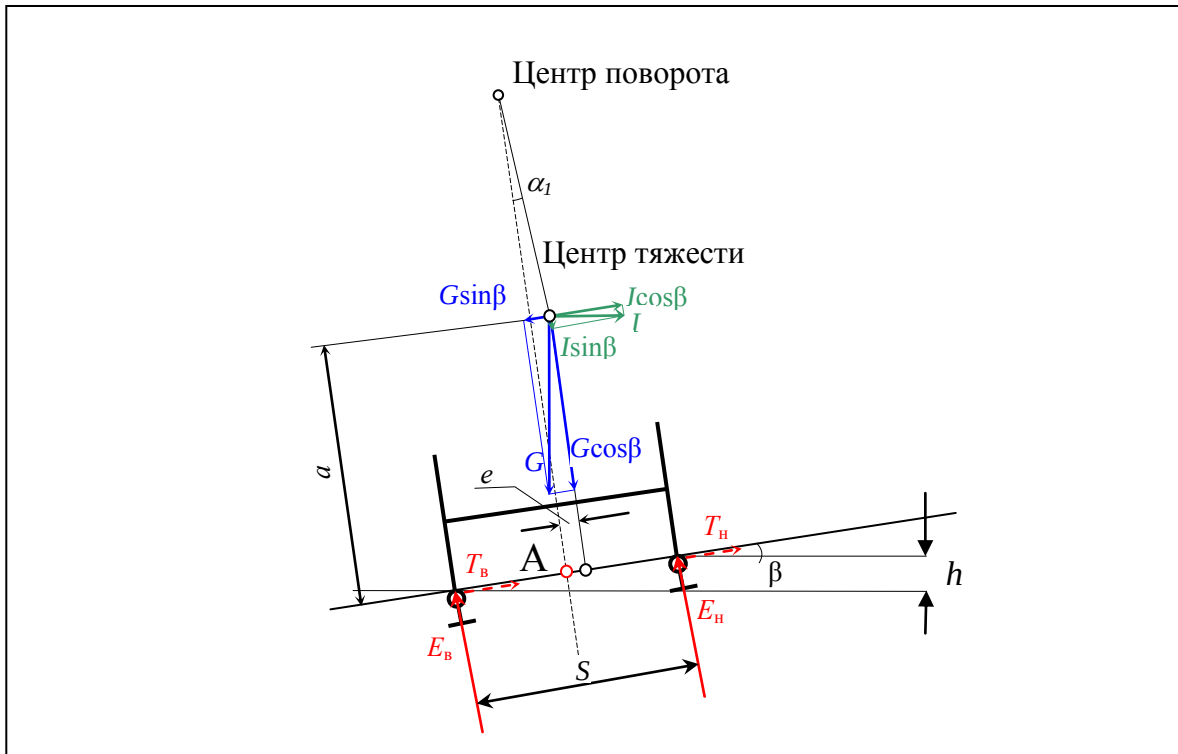


Рисунок 3.3 – Схема расчета возвышения для обеспечения одинакового износа рельсов при подвижном составе с наклоном кузова

где e – смещение центра тяжести вагона из-за наклона кузова, м;

α_1 – угол отклонения центра тяжести вагона относительно центра поворота (см. рисунок 3.3) при движении по кривой.

Пробные расчеты по формуле (3.2) показали, что составляющей $0,00787V^2e/a$ можно пренебречь. Тогда, при средневзвешенной скорости поездов V_{cp} , формула приобретает следующий вид:

$$h = \frac{12,585 \cdot K \cdot V_{cp}^2}{R} \pm 1600 \cdot \frac{e}{a}, \text{ мм} \tag{3.3}$$

Знак второго слагаемого формулы зависит от направления смещения центра тяжести: «+» - от центра кривой, «-» - к центру кривой.

Во многих вагонах с принудительным наклоном кузова поворот предусмотрен вокруг центра тяжести при $e=0$. При этом рекомендуемый радиус кривой по условию равномерного износа будет равен

$$R = \frac{12,585 \cdot V_{\text{сп}}^2 \cdot K}{h \pm 1600e/a}, \text{ м} \quad (3.4)$$

Обеспечение комфортабельной езды пассажиров.

Возвышение, обеспечивающее комфортабельную езду пассажиров при обычном подвижном составе, определяют по формуле

$$h = 12,5 \frac{V_{\text{max}}^2}{R} - a_n \frac{S}{g}, \quad (3.5)$$

Если за возвышение принимать его максимальную для железных дорог РФ величину ($h=150$ мм), при $a_n = 0,5$ м/с², $S = 1600$ мм, $g = 9,81$ м/с² из формулы (3.1) можно определить максимально допускаемую по условиям комфортабельности скорость движения (V_{max}) и рекомендуемый радиус кривых

$$V_{\text{max}} = 4,295\sqrt{R}, \quad (3.6)$$

$$R = 0.054V_{\text{max}}^2. \quad (3.7)$$

Расчеты по формуле (3.6) показывают, что для реализации скоростей порядка 160 – 200 км/ч необходимы радиусы круговых кривых 1500-2500 м. Рассматривая отдельные линии, можно убедиться в том, что увеличение скоростей до вышеупомянутого уровня может потребовать значительной реконструкции плана железнодорожного пути.

На рисунке 3.4 приведена схема действия сил на пассажира при проследовании кривого участка пути подвижным составом с наклоном кузова.

При движении в кривой на пассажира в вагоне с наклоном кузова действуют следующие силы:

$G_1 \sin(\alpha+\beta)$ - составляющая веса пассажира, направленная к центру кривой;

$I \cos(\alpha+\beta)$ - составляющая центробежной силы, направленная от центра

кривой, равная $\frac{G_1 \cdot v_{\text{max}}^2}{g \cdot R} \cdot \cos(\alpha + \beta)$.

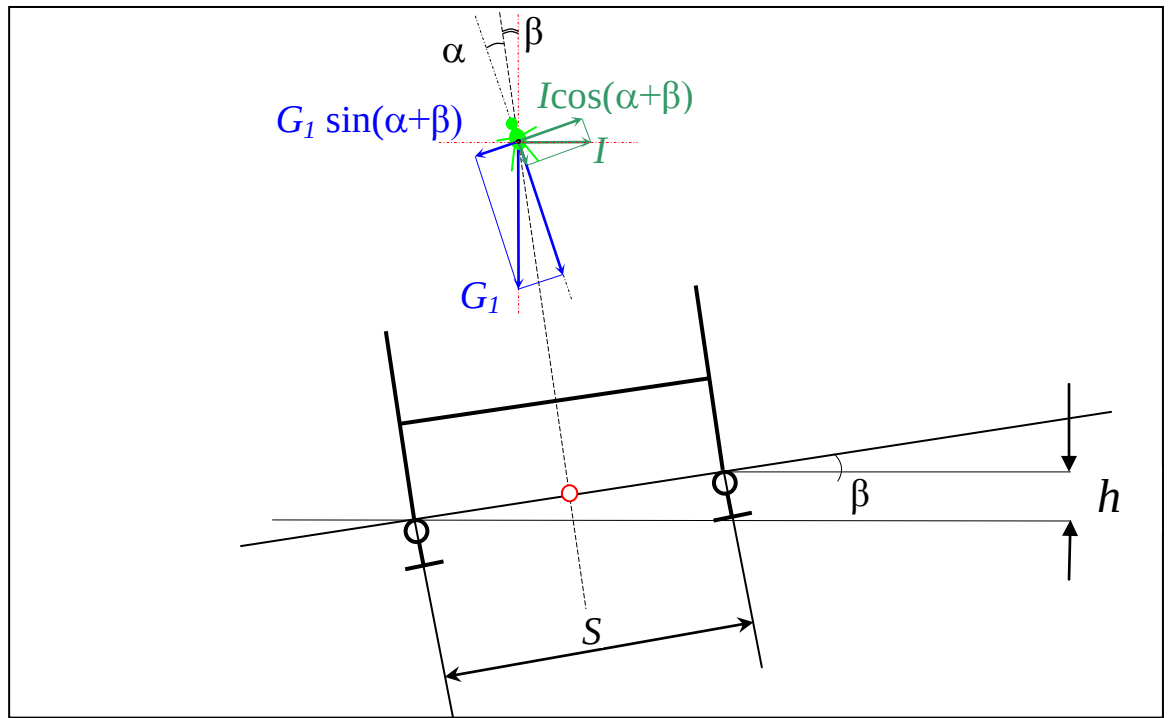


Рисунок 3.4 – Схема к расчету радиуса по условию комфортабельности пассажиров

Баланс сил, действующих на пассажира:

$$\frac{G_1 \cdot v_{\max}^2}{g \cdot R} \cos(\alpha + \beta) - G_1 \sin(\alpha + \beta) = \frac{G_1}{g} \cdot a_{nn} \cdot \cos(\alpha + \beta).$$

$\frac{G_1}{g} \cdot a_{nn} \cdot \cos(\alpha + \beta)$ – непогашенная центробежная сила.

После преобразований получаем

$$R_{\min} = \frac{v_{\max}^2}{a_{nn} + g \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \beta)} = \frac{0.0772 V_{\max}^2}{a_{nn} + g \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \beta)}.$$

Таким образом, *точные формулы* для определения минимального радиуса, обеспечивающего комфортабельность пассажиров, имеют следующий вид:

подвижной состав с наклоном кузова

$$R_{\min} = \frac{0.0772 V_{\max}^2}{a_{nn} + 9.81 \cdot \operatorname{tg}(\pi \cdot \alpha^\circ / 180 + \arcsin(h / S))}; \quad (3.8)$$

$$\text{при } h=150 \text{ мм } R_{\min} = \frac{0.0772 V_{\max}^2}{a_{nn} + 9.81 \cdot \operatorname{tg}(\pi \cdot \alpha^\circ / 180 + 0.09389)};$$

обычный подвижной состав

$$R_{\min} = \frac{0.0772 V_{\max}^2}{a_{nn} + 9.81 \cdot \operatorname{tg}(\arcsin(h / S))}; \quad (3.9)$$

$$\text{при } h=150 \text{ мм } R_{\min \text{ пс}} = \frac{0.0772 V_{\max}^2}{a_{nn} + 9.81 \cdot \operatorname{tg}(0.09389)}.$$

Приближенные формулы:

подвижной состав с наклоном кузова

$$R_{\min} = \frac{0.0772V_{\max}^2}{a_{\text{нп}} + 9,81 \cdot \sin(\pi \cdot \alpha^\circ / 180 + \arcsin(h/S))}; \quad (3.10)$$

$$\text{при } h=150 \text{ мм } R_{\min \text{ пс}} = \frac{0.0772V_{\max}^2}{a_{\text{нп}} + 9,81 \cdot \sin(\pi \cdot \beta / 180 + 0,09389)};$$

обычный подвижной состав

$$R_{\min} = \frac{0.0772V_{\max}^2}{a_{\text{нп}} + 9,81 \cdot h/S}; \quad (3.11)$$

$$\text{при } h=150 \text{ мм } R_{\min} = \frac{0.0772V_{\max}^2}{a_{\text{нп}} + 0,9197}.$$

Расчет возвышения наружного рельса при заданном радиусе по условию обеспечения комфортабельной езды выполняется по формуле

$$h = 1600 \sin \left[\left(\arctg \left(\frac{0,0772V_{\max}^2}{gR} - \frac{a_{\text{нп}}}{g} \right) - \frac{\pi \alpha^\circ}{180} \right) \right] \quad (3.12)$$

На рисунке 3.5 приведены зависимость радиуса кривой от максимальной скорости движения пассажирских поездов по условию обеспечения комфортабельной езды. Расчеты выполнены при $h = 150$ мм, $a_{\text{нп}} = 0,5$ м/с² и $\alpha = 6^\circ$ для различного подвижного состава по точным и приближенным формулам.

Анализ результатов позволяет отметить, что точные и приближенные формулы дают примерно один и тот же результат.

Использование вагонов с наклоном кузова существенно уменьшает требуемую величину радиуса круговой кривой. В рассмотренном примере при $V_{\max} = 200$ км/ч потребная величина радиуса уменьшилась на 40-45%.

На рисунке 3.6 показано влияние на величину необходимого радиуса нормативного непогашенного ускорения. При увеличении $a_{\text{нп}}$ от 0,5 до 1 м/с² потребный радиус по условию комфорта уменьшается на 26 % - при обычном подвижном составе и на 17 % - при подвижном составе с наклоном кузова.

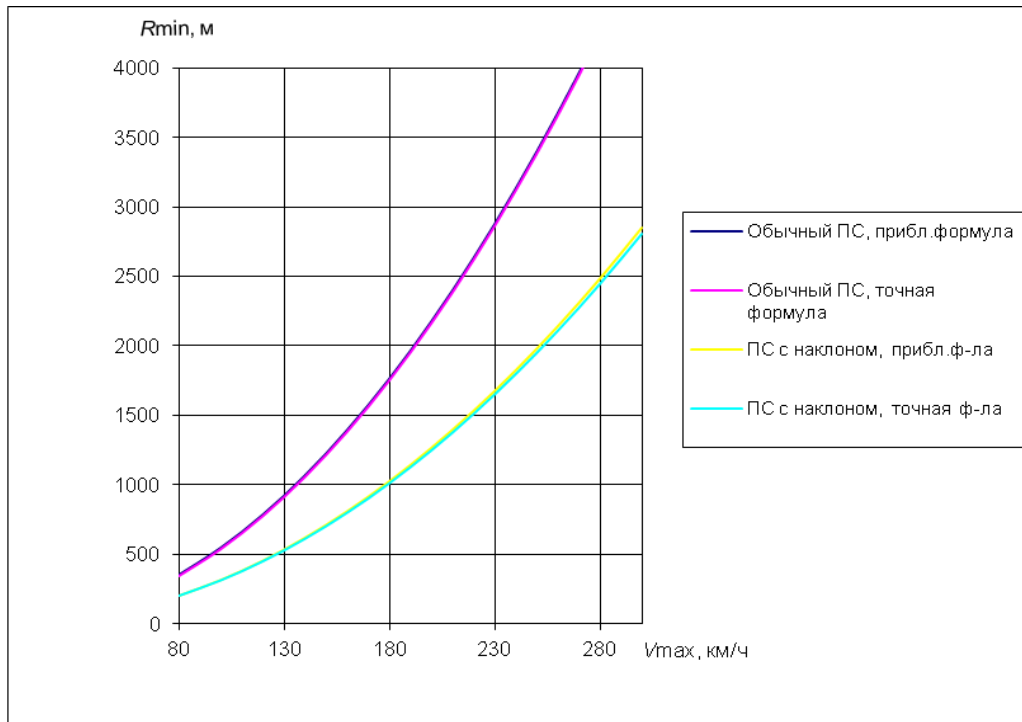


Рисунок 3.5 – График зависимости минимально необходимого радиуса по комфортабельности езды от максимальной скорости $R_{\min}$

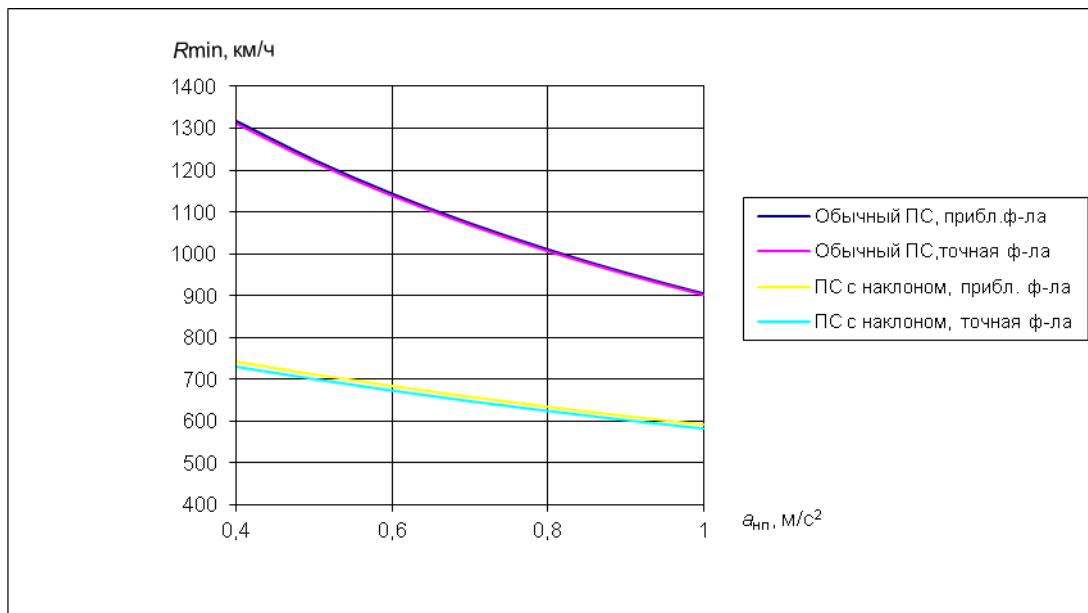


Рисунок 3.6 – График зависимости $R_{\min}$ от непогашенного ускорения ($V_{\max\text{ПС}} = 200$ км/ч; $h = 150$ мм; $\alpha = 6^\circ$)

Максимально-допустимая скорость движения по кривой из формулы (3.7) при $h=150$ мм и $a_{\text{нп}}=0,5$ м/с² равна

$$V_{\max} = \sqrt{R(6.477 + 127.073 \operatorname{tg}(0.017453\alpha^\circ + 0.09388))}.$$

Для обычного подвижного состава $V_{\max} = 4,295\sqrt{R}$,

Для вагонов с наклоном кузова при $\alpha=6^\circ$ $V_{\max} = 5,661\sqrt{R}$

Анализ зависимости максимально-возможной скорости при обеспечении комфорта пассажиров (рисунок 3.7) показывает, что использование вагонов с наклоном кузова позволяет на существующей трассе заметно увеличить скорости движения. Для условий примера скорости возрастут на 30-35%.

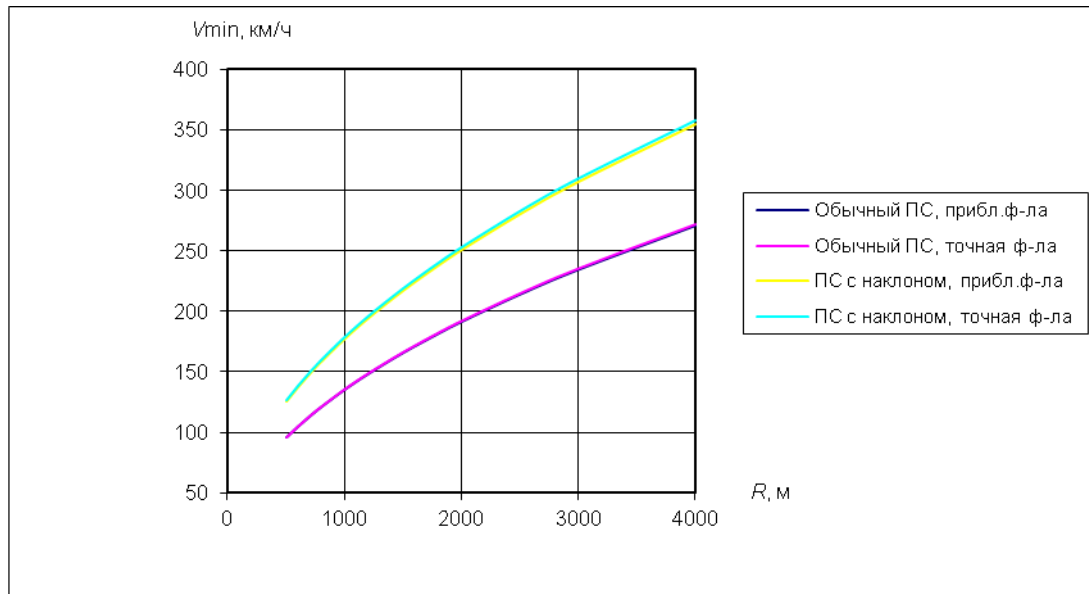


Рисунок 3.7 – График зависимости $V_{\min}(R)$ при $a_{\text{нп}}=0,5 \text{ м/с}^2$; $h = 150 \text{ мм}$; $\alpha = 6^\circ$

Определение рекомендуемых радиусов круговых кривых для реконструкции плана при введении скоростного движения пассажирских поездов.

Определение величин радиусов кривых выполняется для каждой кривой реконструируемого участка с учетом скоростей проследования её поездами разных категорий и размеров движения.

Порядок расчетов рекомендуемой величины радиуса $R_{\text{рек}}$ показан в виде блок-схемы алгоритма на рисунке 3.8.

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

С использованием данных тяговых расчетов и заданных на 10-й 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 ($R_{из}$ – формула 3.4) и комфортабельной езды пассажиров ($R_{ком}$ – формула 3.7) при максимальном возвышении 150 мм.

В блоке 4 выполняется сравнение радиусов, полученных по равномерному износу и по комфортабельности. На рисунке 3.9 показана зависимость $R_{из}$ и $R_{ком}$ от возвышения наружного рельса.

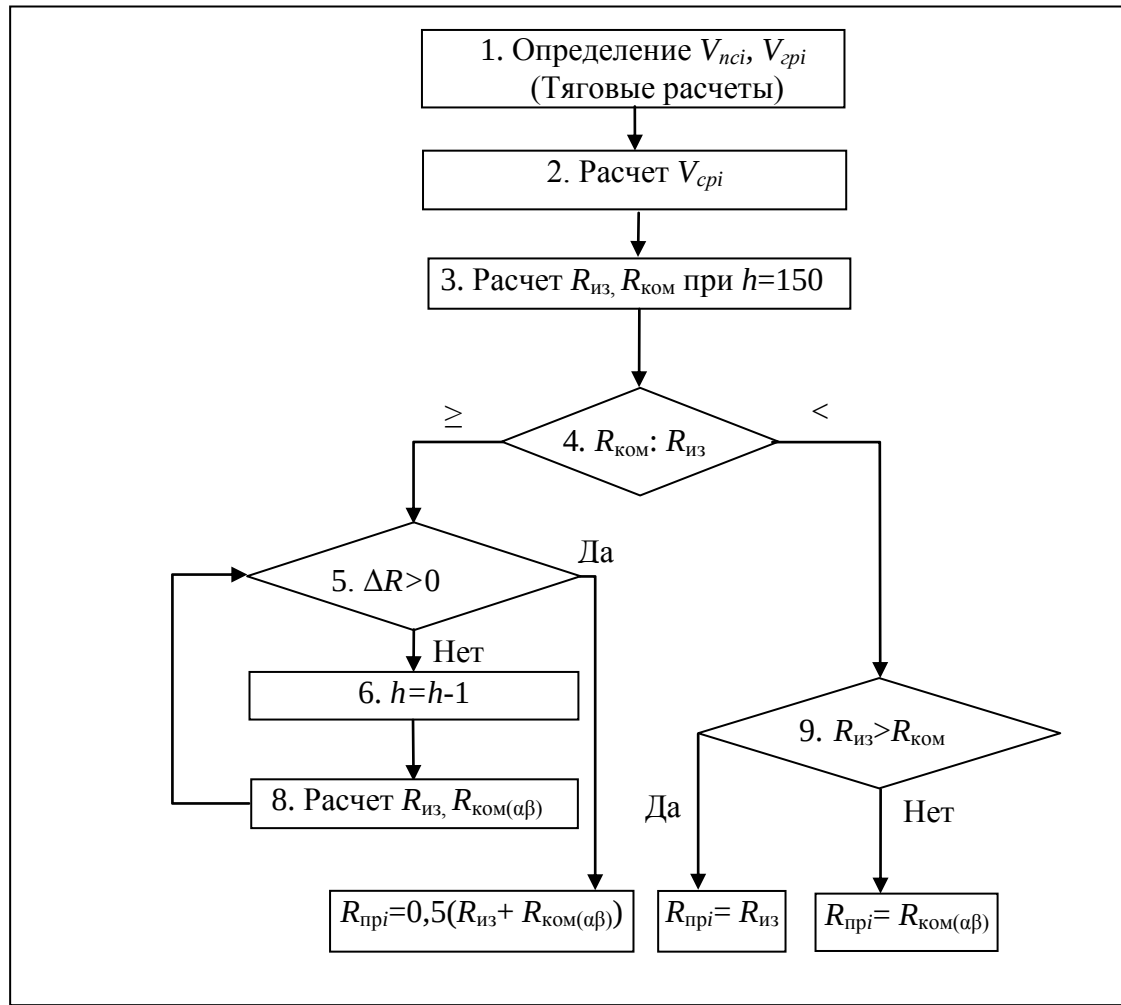


Рисунок 3.8 – Блок-схема алгоритма определения нормативных радиусов кривых

При $R_{ком} \geq R_{из}$ необходимо установить положение точки пересечения кривых $R_{ком}(h)$ и $R_{из}(h)$. При этом будут выполнены оба условия – по одинаковому износу и комфорту пассажиров. Необходима циклическая операция расчета до тех пор, пока разность между $R_{ком}$ - $R_{из}$ не будет ≤ 0 (блоки 5-8). На каждой итерации возвышение наружного рельса уменьшается на 1 мм (блок 6).

При $R_{ком} < R_{из}$ определение радиуса производится в блоке 9.

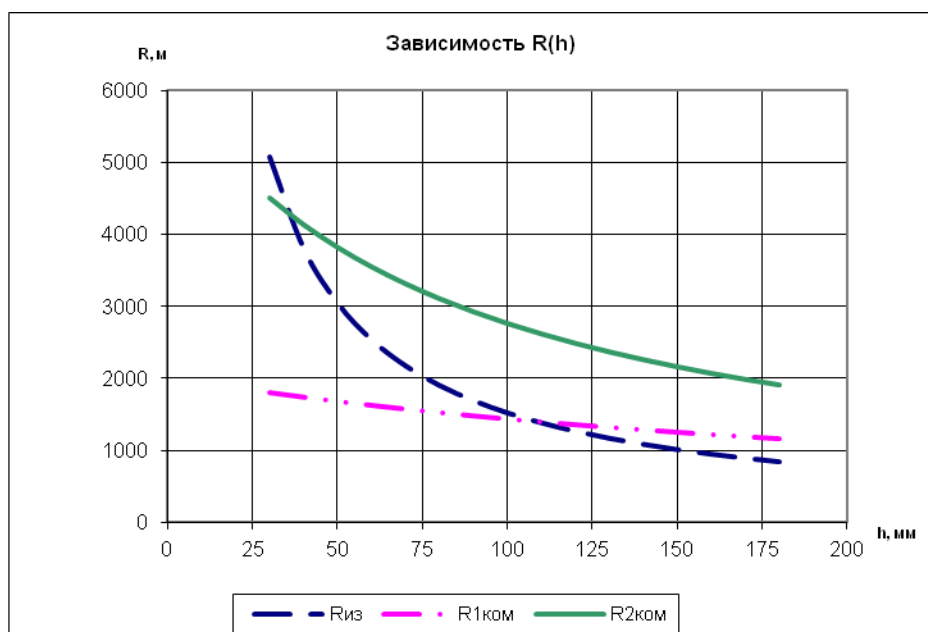


Рисунок 3.9 – График зависимости величины радиуса кривой от возвышения наружного рельса: $R_{\text{из}}$ – радиус по условию одинакового износа рельсов; $R_{1\text{ком}}$ – радиус по условию комфортной езды пассажиров в вагонах с наклоном кузова; $R_{2\text{ком}}$ – радиус по условию комфортной езды пассажиров в обычных вагонах.

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.

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет определять величины радиуса кривой с учетом условий её эксплуатации – скоростей движения и размеров перевозок. Алгоритм реализован в электронных таблицах Excel. В таблицах 3.1 и 3.2 приведены примеры расчетов.

В таблице 3.1 необходимо привести характеристики условий эксплуатации реконструируемой железной дороги: размеры грузового движения по рассматриваемому пути $\Gamma_{\text{нт}}$; 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 $\alpha^\circ=0$).

Таблица 3.1 - Общие характеристики линии

Грузонапряженность $\Gamma_{нт}$, млн ткм нетто/км в год	$n_{пс}$, п. п./сут.	$Q_{пс}$, Т	$a_{пп}$, 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	$V_{пс}$, км/ч	$V_{гр}$, км/ч	$V_{ср}$, км/ч	$R_{из}$, м	$R_{ком}$, м	$R_{рек}$, м	h , мм
1	200	86	100	1012	1246	1394	108
2	150	90	97	934	702	934	150

В таблице 3.2 заданы скорости движения пассажирских ($V_{пс}$) и грузовых ($V_{гр}$) поездов по каждой кривой, полученные в результате тяговых расчетов. В последних двух колонках приведены результаты определения рекомендуемого радиуса $R_{рек}$ и соответствующего ему возвышения наружного рельса h .

3.1.2 Длины переходных кривых и прямых вставок

Переходные кривые необходимы для обеспечения плавного перехода подвижного состава из прямого участка пути в кривые или из кривой одного радиуса или возвышения в кривую другого радиуса или возвышения.

В пределах переходных кривых устраиваются совмещенный отвод кривизны, возвышения наружного рельса и уширения колеи.

Переходные кривые в плане представляет собой кривую переменного радиуса, уменьшающегося от ∞ (бесконечно большого) до радиуса круговой кривой с уменьшением кривизны пропорционально изменению длины. Кривая, обладающая таким свойством, представляет собой радиоидальную спираль, уравнение которой выражается в виде ряда

$$y = \frac{x^3}{6C} \left(1 + \frac{2x^4}{35C^2} + \frac{293x^8}{237000C^4} + \dots \right), \quad (3.13)$$

где C – параметр переходной кривой ($C=IR$),

l – длина дуги.

Такие переходные кривые могут использоваться и на линиях с высокими скоростями движения пассажирских поездов.

Экипаж при входе в переходную кривую начинает направляться наружной рельсовой нитью в средней части переходной кривой, где кривизна становится более $(1/650) - (1/750)$ м. «Эффективная длина» переходной кривой намного меньше ее фактической длины.

Уровень комфорта пассажиров при движении поезда в переходных кривых можно оценить исходя из трех факторов: поперечного ускорения, скорости изменения ускорения и скорости поворота тела вокруг продольной оси вагона. Величина некомпенсированного поперечного ускорения в переходных кривых больше, чем в круговых, и мало зависит от применения технологии наклона кузова вагона, но скорость изменения ускорения в таком случае выше, поскольку выше и скорость движения поезда.

Известно, что увеличение угла наклона кузова вагона уменьшает величину поперечного ускорения при движении в кривых, но скорость поворота тела при этом возрастает. Так, при угле наклона кузова равном 9° , и угле недостатка возвышения наружного рельса, равном 6° , т.е. при указанных типичных условиях, скорость поворота тела в 3 раза выше, чем без наклона кузова. Насколько значительна эта разница, зависит от продолжительности нахождения вагона на переходной кривой.

Для типичного случая прохождения переходной кривой за 3 с комфорт стоящих пассажиров в вагонах с наклонными кузовами существенно ухудшается, и поэтому повышение скорости движения поезда из таких вагонов по сравнению с поездом из обычных вагонов при условии сохранения того же уровня комфорта ограничено 25%. Если переходные кривые короче и поезд проходит их, к примеру, за 2 с, возможность повышения скорости поезда из вагонов с наклоняемыми кузовами еще больше уменьшается [30].

В противоположность явлениям, возникающим при движении поезда в переходных кривых, которые можно рассматривать для каждой кривой в отдельности, головокружение имеет кумулятивный характер и обостряется в за-

зависимости от индивидуальных показателей здоровья пассажиров, хотя полного представления об этих зависимостях еще нет. Ясно только, что эффект головокружения накапливается и углубляется при большом числе следующих друг за другом кривых малого радиуса с короткими переходными кривыми. В связи с этим необходимо уточнить долю поперечного ускорения, подлежащую компенсации, и вести в систему управления механизмом наклона кузова вагона алгоритм оптимизации угла наклона в каждой кривой.

Однако длины переходных кривых при существующем состоянии железнодорожных линий не всегда соответствуют требованиям исследований и СТН. При применении подвижного состава с наклоном кузова ($3..8^\circ$), который позволяет увеличить скорость движения на направлениях с большим количеством кривых без их переустройства, теоретически можно повысить скорость в кривых с малыми возвышениями наружного рельса на величину более 25 %. Но, с другой стороны, необходимо снижать скорость движения из-за превышения непогашенного ускорения кузова и скорости его изменения при преодолении переходной кривой. Этот факт может привести к тому, что система принудительного наклона не в полной мере себя оправдывает и увеличение скорости прохождения кривых может оказаться менее 20 %.

Одним из путей решения данной проблемы является переустройство пути, которое будет заключаться в установлении необходимой длины переходной кривой до уровня, при котором время ее прохождения будет не меньше времени, складывающегося из времени на обнаружение начала кривого участка пути (времени нарастания непогашенного ускорения кузова вагона до порогового значения) и времени срабатывания механизма наклона (приведения кузова в наклонное положение).

Длина переходной кривой, необходимая для приведения кузова в наклонное положение, зависит не только от возвышения наружного рельса в круговой кривой (по стандартным методикам расчета), но и от порогового значения непогашенного ускорения и угла наклона кузова вагона (от постоянных

величин для механизма наклона), а также радиуса круговой кривой и принятого допустимого значения непогашенного ускорения.

В профиле переходная кривая в обычных условиях представляет собой наклонную линию с однообразным уклоном $i = h/l_{\text{пер}}$.

На дорогах Германии, Франции, Японии и других стран используется криволинейный отвод возвышения наружной нити, преимущество которого в наибольшей мере проявляется при высокоскоростном движении поездов.

Длины переходных кривых для подвижного состава с наклоном кузова частично регламентируются в [58]. При длине прямых вставок 25 м и менее, а также при их отсутствии:

- при наличии переходных кривых и прямой вставки (для обратных кривых и кривых одного направления): $[a_{\text{нп}}] = 0,7 \text{ м/с}^2$; $[\psi] = 0,3 \text{ м/с}^3$;
- при наличии переходных кривых и отсутствии прямой вставки:
 - для обратных кривых: $[a_{\text{нп}}] = 0,7 \text{ м/с}^2$; $[\psi] = 0,6 \text{ м/с}^3$;
 - для кривых одного направления: $[a_{\text{нп}}] = 0,7 \text{ м/с}^2$; $[\psi] = 0,3 \text{ м/с}^3$;
- при отсутствии переходных кривых и наличии или отсутствии прямой вставки: $[a_{\text{нп}}] = 0,4 \text{ м/с}^2$; $[\psi] = 0,3 \text{ м/с}^3$.

Приведенные нормативы $[a_{\text{нп}}]$ и $[\psi]$ относятся ко всем типам подвижного состава, включая скоростной и высокоскоростной подвижной состав, в том числе электропоезда «Тальго», «Аллегро» и «Сапсан». При этом электропоезда «Тальго» и «Аллегро» должны эксплуатироваться по таким сопряжениям кривых в режиме без наклона кузова;

для скоростных электропоездов с наклоном кузова («Тальго» и «Аллегро») при длине прямых вставок более 25 м и в несопряженных кривых:

- при наличии переходных кривых и прямых вставок длиной 26-50 м:
 $[a_{\text{нп}}] = 0,7 \text{ м/с}^2$; $[\psi] = 0,6 \text{ м/с}^3$;

в этом случае электропоезда «Тальго», «Аллегро» должен эксплуатироваться в режиме без наклона кузова;

– при наличии переходных кривых и прямых вставок длиной более 50 м: $[a_{\text{нп}}]=1,5 \text{ м/с}^2$; $[\psi]=0,9 \text{ м/с}^3$; в этом случае электропоезд ЭВС «Аллегро» может эксплуатироваться в режиме с наклоном кузова;

– при отсутствии переходных кривых независимо от длины прямой вставки: $[a_{\text{нп}}]=0,4 \text{ м/с}^2$; $[\psi]=0,3 \text{ м/с}^3$; в этом случае электропоезд ЭВС «Аллегро» должен эксплуатироваться в режиме без наклона кузова.

Длины переходных кривых принимаются исходя из условия:

- 1) обеспечение безопасности от схода колеса с рельсов при отводе возвышения;
- 2) отсутствия у пассажиров неприятных ощущений при входе и следовании по переходной кривой.

Предотвращение схода колес с рельсов внутренней нити при заклиненном вписывании экипажа и прямолинейном отводе возвышения гарантируется [76] соотношением

$$k_{\min} > iL_{\max},$$

где $k_{\min}$ – наименьший свес гребня колеса; $L_{\max}$ – наибольшая длина жесткой базы; i – уклон отвода возвышения.

При $k_{\min} = 30 \text{ мм}$ и $L_{\max} = 4,6 \text{ м}$ критический уклон равен 0,0065. Обычно принимается $i = i_1 \leq 1\text{‰}$. При заданном h_0 длина переходной кривой

$$l_{\text{пер}} = h_0/i_1.$$

По второму ограничению исследованиями установлены [76] следующие критерии выбора длины переходных кривых:

$$\max\left(\frac{dh}{dt}\right) \leq f \text{ и } \max\left(\frac{da_{\text{н}}}{dt}\right) \leq \Psi, \quad (3.14)$$

где $a_{\text{н}}$ – горизонтальное непогашенное ускорение, м/с^2 ; Ψ – допустимое значение приращения непогашенных горизонтальных ускорений; f – допустимое значение скорости подъема колеса по наружному рельсу.

Из условий (3.14) следует

$$l_{\text{пер}} \geq \frac{h_0 v_{\max}}{f} \text{ и } l_{\text{пер}} \geq \frac{a_{\text{н}}}{\Psi}. \quad (3.15)$$

Значения Ψ в зарубежной практике принимаются от 0,3 до 1,0 м/с^3 .

При изменении скорости от 100 до 250 км/ч f возрастает до 50 мм/сек. При $V_{\max} = 200$ км/ч расчетное значение f принимается равным 42 мм/с.

Для вагонов с наклоном кузова длина переходных кривых, исходя из отсутствия у пассажиров неприятных ощущений при входе и следовании по переходной кривой (3.15), определяется с учетом дополнительного угла наклона:

$$l_{\text{пер}} \geq \frac{(h_0 + S \sin \alpha) v_{\max}}{f} \quad \text{и} \quad l_{\text{пер}} \geq \frac{a_n}{\Psi}. \quad (3.16)$$

Если за возвышение принимать величину $h = 50, 100$ и 150 мм, при $f = 42$ мм/с, $S = 1600$ мм, $\alpha = 0^\circ \div 8^\circ$, то из формулы (3.16) можно определить максимальную длину переходной кривой с учетом использования подвижного состава с наклоном кузова (таблице 3.3). На рисунке 3.10 показан график зависимости длины переходной кривой от скорости при различном угле наклона подвижного состава.

Таблица 3.3 – Длина переходной кривой для вагонов с наклоном кузова, м

V, км/ч	h=50 мм			h=100 мм			h=150 мм		
	$\beta=0^\circ$	$\beta=3,5^\circ$	$\beta=8^\circ$	$\beta=0^\circ$	$\beta=3,5^\circ$	$\beta=8^\circ$	$\beta=0^\circ$	$\beta=3,5^\circ$	$\beta=8^\circ$
80	26	78	144	53	105	171	79	131	197
100	33	98	181	60	131	214	99	164	247
120	40	117	217	79	157	256	119	197	296
140	46	137	253	93	183	299	139	230	345
160	53	157	289	106	210	342	159	262	395
180	60	176	325	119	236	385	179	295	444
200	66	196	361	132	262	427	198	328	493

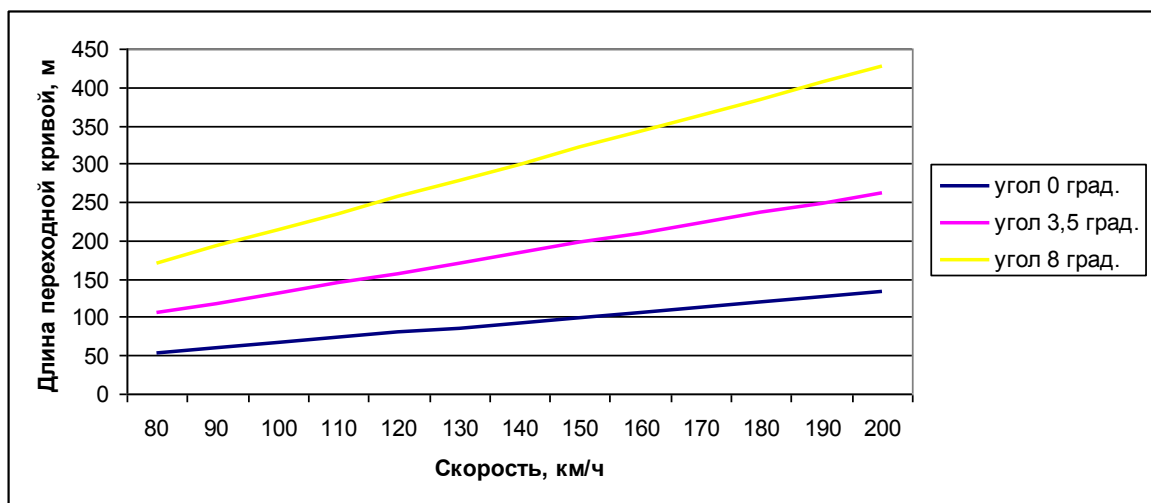


Рисунок 3.10 – Зависимость длины переходной кривой от скорости при различном угле наклона подвижного состава ($h = 100$ мм)

Рассмотрев результаты расчета длины переходной кривой при использовании обычного подвижного состава и подвижного состава с наклоном кузова приходим к выводу, что ее длину необходимо существенно увеличивать (в 2 – 3 раза) для сохранения уровня комфортабельности езды пассажиров при движении поезда в переходных кривых.

Прямые вставки проектируются как между кривыми, направленными в одну сторону, так и между кривыми, направленными в разные стороны [73]. Длины прямых вставок между смежными кривыми должны обеспечивать затухание колебаний экипажа, вызванное проследованием его по кривой. Полное затухание возможно при длине вставки

$$d_{\text{вст}} = \frac{vq}{3,6q_1}, \quad (3.17)$$

где v – скорость экипажа, м/с; q – частота затухания колебаний боковой качки, Гц; q_1 – собственная частота колебаний экипажа, Гц.

При подготовке существующих железных дорог для высоких скоростей движения и при сооружении новых линий стремятся иметь прямые вставки большей длины, чем полученной по формуле (3.17).

Длина прямой вставки регламентируется нормами [73]. На скоростных железных дорогах и на линиях I категории рекомендуется длину прямой вставки независимо от направления сопрягаемых кривых принимать равной 150 м. В трудных условиях на дорогах 1 категории необходимо обеспечить длину прямой вставки не менее 50-75 м, на скоростных линиях – не менее 100 м.

В других странах: в Японии длина вставки для скоростных и высокоскоростных линий принимается 100 – 150 м; в Чехии и Дании $d_{\text{вст}} = 0,5V_{\text{max}}$; в Германии $d_{\text{вст}} = 0,2V_{\text{max}}$.

3.2 Габаритное уширение междупутья

Подвижной состав, сооружения и устройства на железных дорогах проектируются с учетом требований соответствующих габаритов. На прямых уча-

стках перегонов расстояние между осями первого и второго путей не менее 4,10 м. На кривых участках расстояние между осями увеличивают в зависимости от радиуса кривой в соответствии с инструкцией по применению габаритов приближения строений, приведенной в [12], т.е. устраивают габаритное уширение.

Расстояние в свету между поездами, идущими одновременно по соседним путям, не должно быть меньше аналогичного на прямой. В кривой это расстояние уменьшается, так как концы экипажей смещаются наружу, а середина – внутрь (рисунок 3.11). На кривых, в которых возвышение упорной нити наружного пути h_n больше возвышения упорной нити внутреннего пути $h_{вн}$ (т.е. $h_n > h_{вн}$), это невыгодное положение экипажей еще больше уменьшает расстояние в свету (рисунок 3.12).

Сближение экипажей происходит и в вертикальной плоскости (если возвышение наружного рельса внешней кривой больше, чем внутренней). В этой связи на кривых двухпутных участках междупутные расстояния увеличиваются на величину Δ_{zy} (габаритное уширение) из условия прохода двухосного вагона (принятого за расчетный) длиной 24 м с направляющей базой 17 м с той же степенью безопасности движения, что и на прямых участках пути в соответствии с радиусом кривой и возвышением наружного рельса. Такое увеличение междупутного расстояния преследует цель – обеспечение безопасности движения в момент одновременного прохода по кривой поездов разного направления.

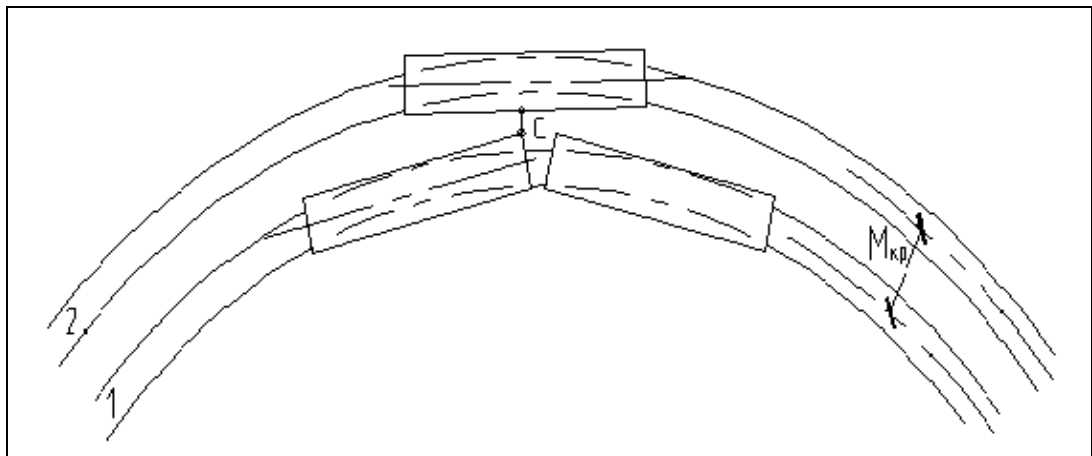


Рисунок 3.11 – Положение экипажей в двух соседних concentрических кривых

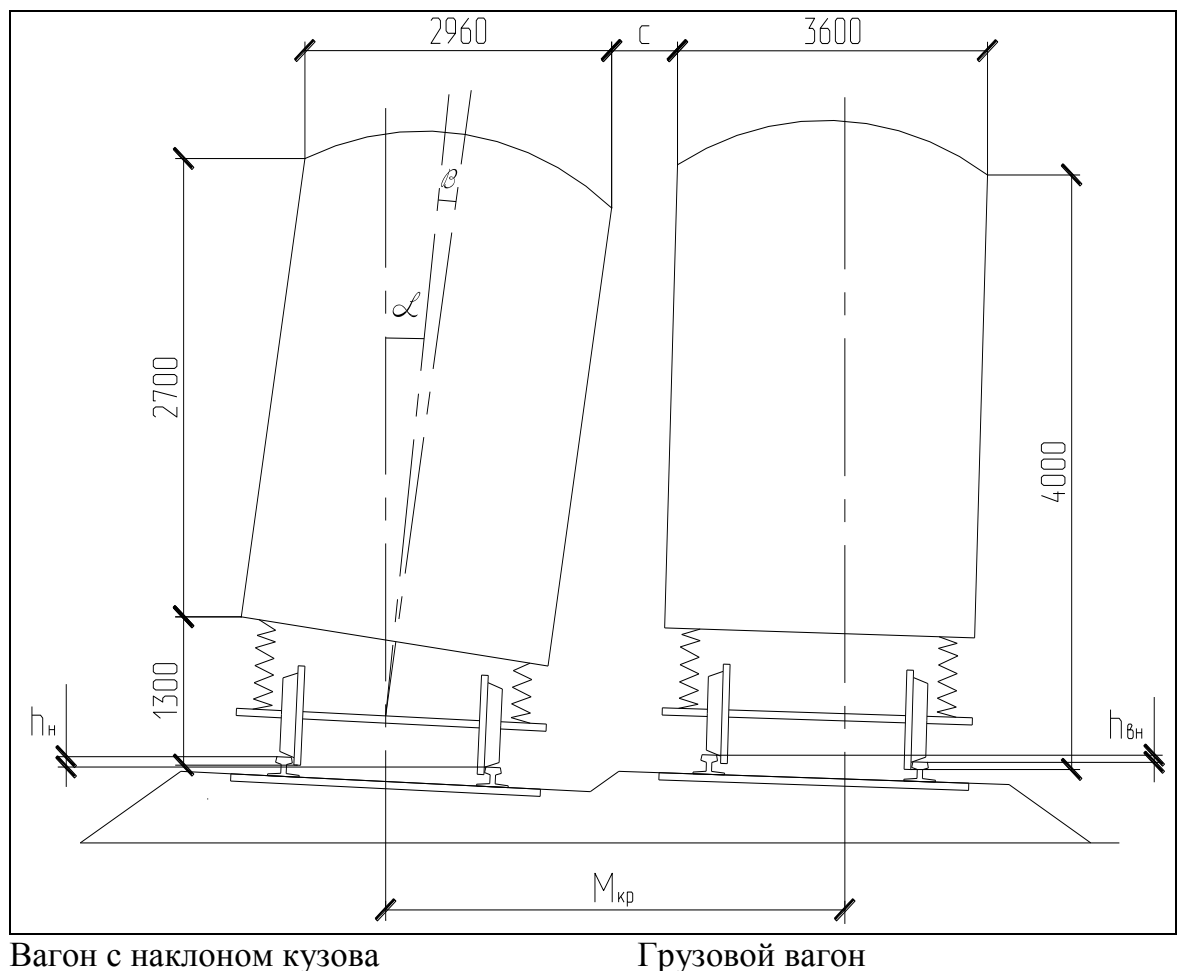
Междупутное расстояние – это расстояние между осями рядом расположенных путей. Размеры междупутных расстояний определены габаритом приближения строений (габаритом С, [12]).

Численное значение уширения междупутных расстояний в кривых зависит от длины экипажа, радиуса кривой и разницы возвышений ($h_n - h_{вн}$) упорных рельсовых нитей наружного и внутреннего путей.

Минимально необходимое расстояние между осями путей в кривых в эксплуатационных условиях определяются по формуле

$$M_{кр} = M_{пр} + d_m + \Delta d_m, \quad (3.18)$$

где $M_{пр}$ – установленное междупутье на прямом участке пути (на перегоне 4100 мм), мм; d_m – уширение междупутья, мм; Δd_m – дополнительное уширение междупутья, мм, для случая, когда $h_n > h_{вн}$.



Вагон с наклоном кузова

Грузовой вагон

Рисунок 3.12 – Невыгодное положение подвижного состава в кривой на двухпутном участке

Уширение междупутий d_m в кривых приведены в таблице 3.4 [27].

Дополнительное уширение междупутя $\Delta d_m = 0$, при $h_n \leq h_{вн.}$; $\Delta d_m = 2,5 (h_n - h_{вн.})$ при $h_n > h_{вн.}$.

Таблица 3.4 – Величина габаритного уширения в кривых

Радиус кривой, м	При величине h_n , мм					
	100 и менее	110	120	130	140	150
4000	20	–	–	–	–	–
3000	25	–	–	–	–	–
2500	30	–	–	–	–	–
2000	35	–	–	–	–	–
1800	40	–	–	–	–	–
1700	45	45	–	–	–	–
1600	45	45	45	–	–	–
1500	50	50	50	50	50	–
1400	50	55	60	60	60	60
1300	55	60	70	80	80	80
1200	60	65	75	85	95	105
1100	65	70	80	90	100	110
1000	70	75	85	100	110	115
900	80	85	95	105	115	125
800	90	95	105	115	125	135
700	105	110	120	130	140	150
600	120	125	135	145	155	165
500	145	150	160	170	180	190
400	180	185	195	205	215	225
300	240	245	255	265	275	285

Внедрение технологии наклона кузовов вагонов оказывает влияние не только на конструкцию и технические характеристики подвижного состава, но и на всю железнодорожную инфраструктуру: путь, искусственные сооружения, габаритные уширения в кривых, системы сигнализации и управления движением поездов.

Особенно важны аспекты безопасности при вписывании подвижного состава с наклоном кузова в габаритные ограничения в пределах кривых. Вагоны при дополнительном наклоне кузова остаются в пределах габаритных ограничений при движении в любом направлении. Особенно невыгодным положением является, когда в кривой одновременно находятся вагон с наклоном кузова (на внешнем пути) и рядом проходящий грузовой вагон с габаритами погрузки

второй степени, который пропускается по железной дороге на льготных условиях (на внутреннем пути) (см. рисунок 3.12).

В таких случаях производится увеличение междупутных расстояний не только на величину дополнительного уширения междупутья $\Delta_{\text{гy}}$, но еще и на расстояние, получающееся при дополнительном наклоне кузова на n -ую величину градусов (для вагонов с наклоном кузова Talgo максимальный угол равен 8°). Таким образом, дополнительное уширение в кривых, связанное с наклоном кузова

$$\Delta_{\text{гy доп}} = M_{\text{кр}} - [(\text{Ш}_{\text{г}} - \Delta h) + (0,5\text{Ш}_{\text{в}} + H)], \quad (3.19)$$

где $\text{Ш}_{\text{г}}$ – ширина габарита, мм;

Δh – величина отклонения вагона в кривой, мм;

$\text{Ш}_{\text{в}}$ – ширина вагона, мм;

H – величина суммарного отклонения тележки, связанного с возвышением наружного рельса в кривых и отклонения вагона из-за дополнительного наклона кузова, мм.

Так, например, при существующем радиусе $R_c = 1000$ м и возвышении наружного рельса $h = 100$ мм, в кривой необходимо уширение междупутья $\Delta_{\text{гy}} = 70$ мм. При этом кривая, радиусом 1000 м может пропустить скорость 140 км/ч. Однако, поезд с дополнительным наклоном кузова в 8 град. может пройти ту же кривую со скоростью 190 км/ч. В данном случае увеличивается междупутье на величину $\Delta_{\text{гy доп}} = 70 + 380 = 450$ мм.

В таблице 3.5 приведены суммарная величина увеличения междупутных расстояний на величину дополнительного уширения междупутья $\Delta_{\text{гy}}$ в кривой и дополнительного габаритного уширения междупутных расстояний $\Delta_{\text{гy доп}}$ при дополнительном угле наклона подвижного состава (8°) – $(\Delta_{\text{гy}} + \Delta_{\text{гy доп}})$.

Таблица 3.5 – Величина дополнительного габаритного уширения в кривых для прохождения вагона с наклоном кузова

Радиус кривой, м	h , мм		
	100 и менее	120	150
4000	20+372	—	—
3000	25+372	—	—
2500	30+375	—	—
2000	35+368	—	—
1800	40+368	—	—
1700	45+369	—	—
1600	45+371	45+360	—
1500	50+373	50+363	—
1400	50+377	60+368	60+369
1300	55+367	70+374	80+377
1200	60+363	75+355	105+359
1100	65+370	80+364	110+371
1000	70+380	85+376	115+355
900	80+363	95+360	125+375
800	90+379	105+378	135+361
700	105+366	120+367	150+352
600	120+355	135+358	165+346
500	145+348	160+355	190+346
400	180+349	195+360	225+357
300	240+363	255+368	285+368

Таким образом, введения подвижного состава с наклоном кузова на существующие железнодорожные линии приводит к необходимости увеличения междупутий на величину $\Delta_{\text{гу доп}}$, связанную с безопасностью вписывания в габариты при прохождении кривой двухпутного участка подвижных составов с наклоном кузова разного направления.

3.3 Эффективность внедрения скоростного движения с учетом использования вагонов с наклоном кузова

Структура показателя критерия эффективности реконструкции линии для скоростного движения пассажирских поездов.

Технико-экономическое обоснование целесообразности технического совершенствования отраслевого развития, требующего инвестиционных вложений, основывается на системе показателей, которые можно объединить в две группы: натуральные и стоимостные показатели.

Натуральные показатели характеризуют технические или технологические достоинства и преимущества проектного решения. Это могут быть технические параметры проекта: руководящий уклон, длина приемо-отправочных путей, весовая норма, мощность железной дороги и т.д., или параметры, имеющие важное эксплуатационное значение: скорость, расход электроэнергии, расходы по содержанию постоянных устройств и др. Определяющее значение для выбора проекта, в который будут вкладываться инвестиции, имеют стоимостные показатели.

К стоимостным показателям, обычно рассматриваемым при экономическом обосновании капитальных вложений относятся: суммы инвестиций или капитальных вложений, требуемых для реализации проектного решения; годовые текущие издержки, возникающие в процессе внедрения проекта и затем его реализации; приведенные строительно-эксплуатационные расходы; доходы или прибыль, получаемые от внедрения проекта.

В состав суммы капитальных вложений или единовременных затрат входят инвестиции в их денежном эквиваленте. Текущие издержки или эксплуатационные расходы включают все виды затрат, связанных с эксплуатацией вновь вводимых или реконструируемых инвестиционных объектов. В отличие от капитальных вложений, текущие затраты рассчитываются обычно за годовой период эксплуатации.

Рассматриваемая задача – внедрение скоростного движения - относится к государственному уровню и устанавливается общественная эффективность инвестиций. Поэтому в качестве основной части *результата* от увеличения скоростей движения пассажирских поездов будет дополнительная плата пассажиров за сокращение времени поездки

$$C_{\text{пас-ч}} = 365 n_{\text{пас}} \cdot m \cdot \alpha_{\text{зап}} \cdot \Delta T \cdot e_{\text{пас-ч}} \cdot 10^{-6}, \text{ млн. руб./год}, \quad (3.20)$$

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.

При сравнении вариантов проектных решений, например, по выбору вида подвижного состава для скоростных поездов можно использовать стоимость времени нахождения пассажиров в пути – как затратную часть критерия

$$C'_{\text{пас-ч}} = 365 \cdot n_{\text{пас}} \cdot m \cdot \alpha_{\text{зап}} \cdot (T' + T'') \cdot e_{\text{пас-ч}} \cdot 10^{-6}, \text{ млн. руб./год},$$

где $T' + T''$ - время нахождения пассажиров в пути в направлении «туда» и «обратно» в час.

В состав затрат входят капиталовложения в реконструкцию дороги ($K_{\text{рек}}$) и на приобретение подвижного состава ($K_{\text{пс}}$)

$$Z_t = K_{\text{рек}} + K_{\text{пс}}. \quad (3.21)$$

Кроме того, в связи с использованием нового подвижного состава в пассажирском движении и модернизацией технического состояния дороги, после реконструкции изменятся 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 и заменой подвижного состава ($\pm \Delta C_t$).

Замена подвижного состава предопределяет высвобождение используемых пассажирских вагонов и локомотивов. Поэтому необходимо учитывать его возвратную стоимость ($K_{\text{пс(возв.)}}$).

Так как проект социальный и имеет большое значение для народного хозяйства, то могут иметь место единовременные дотации государства (D).

Таким образом, с учетом изложенного, составляющие результата, полученного за счет эксплуатации объекта, определяются по формулам

$$R_t = C_{\text{пас-ч}} + D + K_{\text{пс(возв.)}} \pm \Delta C_t. \quad (3.22)$$

Сравнительная эффективность

Для сравнения различных видов подвижного состава и выбора наиболее экономически рационального из них можно использовать в качестве критерия минимум приведенных затрат на расчетный год эксплуатации

$$\min \Theta = K_{\text{рек}} + K_{\text{пс}} - K_{\text{пс(возв.)}} + C'_{\text{пас-ч}} \pm \Delta C_t. \quad (3.23)$$

По этой методике для одного из участков Белорусской железной дороги сделаны вариантные расчеты (участок ст. Бобр – ст. Негорелое (192 км)). Рассмотрены различные варианты использования подвижного состава и технического состояния железной дороги – всего пять вариантов.

Вариант 1. Существующее техническое состояние дороги. Электрическая локомотивная тяга переменного тока. Электровоз ЧС-4т.

Вариант 2. Существующее техническое состояние дороги. Электрическая моторвагонная тяга переменного тока. Электропоезд «Сапсан». Обычный подвижной состав.

Вариант 3. Существующее техническое состояние дороги. Электрическая моторвагонная тяга переменного тока. Электропоезд «Talго 250». Оборудован системой наклона кузова вагонов.

Вариант 4. Дорога реконструирована под скоростное движение. Электрическая моторвагонная тяга переменного тока. Электропоезд «Сапсан» - обычный подвижной состав.

Вариант 5. Дорога реконструирована под скоростное движение. Электрическая моторвагонная тяга переменного тока. Электропоезд «Talго 250», оборудованный системой наклона кузова вагонов.

Для определения тягово-эксплуатационных показателей произведены тяговые расчеты в программном комплексе ЭРА-ТЭП.

Эксплуатационные расходы определены по единичным и групповым измерителям, стоимость переустройства – по укрупненным показателям.

Единичные расценки для определения эксплуатационных затрат и стоимости реконструкции взяты для условий Республики Беларусь.

В таблице 3.6 и на рисунке 3.13 приведены результаты расчетов приведенных затрат в зависимости от размеров пассажирского движения.

Таблица 3.6 – Приведенные затраты для различных вариантов скоростного движения

Э, млн.у.е.				
Количество, пар поездов/сутки	10	15	20	25
ЧС4 на существующем пути	38,90	58,35	77,80	97,10
Сапсан (Штадлер) на существующем участке пути	50,26	75,42	100,53	125,68
Talgo на существующем участке пути	48,78	73,11	97,50	121,89
Сапсан (Штадлер) на реконструируемом участке пути	48,41	68,11	87,84	107,56
Talgo на реконструируемом участке пути	42,21	60,09	77,97	95,84

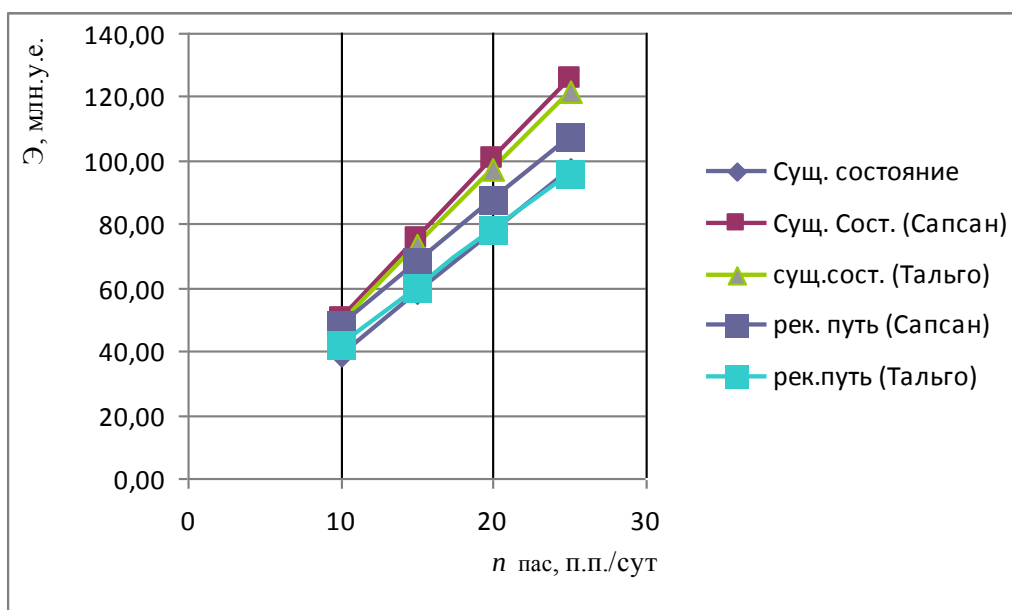


Рисунок 3.13 – Зависимость приведенных расходов от числа пар поездов в сутки

Общая экономическая эффективность использования подвижного состава с наклоном кузова

Применительно к реконструкции железной дороги с целью внедрения скоростного движения пассажирских поездов ЧДД определяется по формуле

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (C_{\text{п-ч}} + D + K_{\text{пс(возв.)}} \pm \Delta C_t - K_{\text{рек}} - K_{\text{пс}}) \frac{1}{(1+E)^t}. \quad (3.24)$$

Налоговая составляющая для проектов государственного значения не учитывается.

Срок окупаемости и ЧДД при различных стоимостях пассажиро-часа приводятся на графиках рисунке 3.14.

Сроки окупаемости при различной стоимости пассажиро-часа в зависимости от размеров движения представлены в таблице 3.6 и на рисунке 3.15.

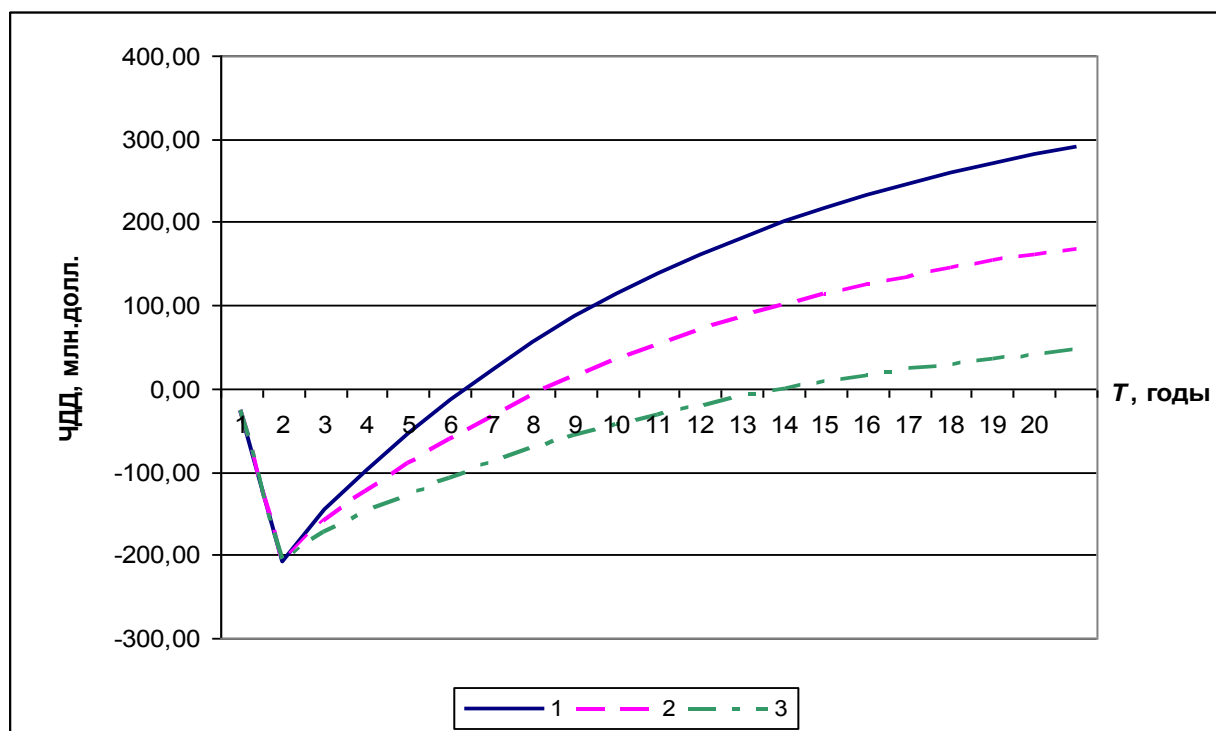


Рисунок 3.14 – Общий показатель ЧДД при различной стоимости пассажиро-часа:
1 – при стоимости пас-часа, увеличенной в 2 раза; 2 – при стоимости пас-часа, увеличенной в 1,5 раза; 3 – при существующей стоимости пас-часа (3,28 у.е.)

Таблица 3.6 – Сроки окупаемости при различной стоимости пассажиро-часа

Срок окупаемости ($T_{ок}$)	Стоимость пассажиро-часа, у.е..
15	3,28
8	4,92
4	6,56

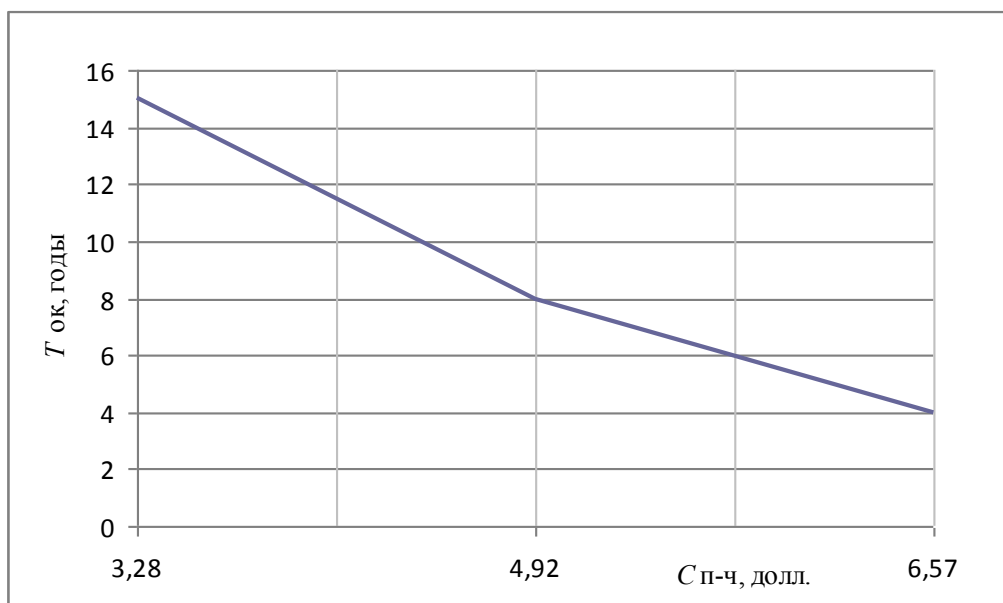


Рисунок 3.15 – Срок окупаемости введения скоростного движения при различной стоимости пас–ч

На рисунке 3.16 показана зависимость срока окупаемости затрат по реконструкции участка, принятого для примера, от размеров пассажирских перевозок.

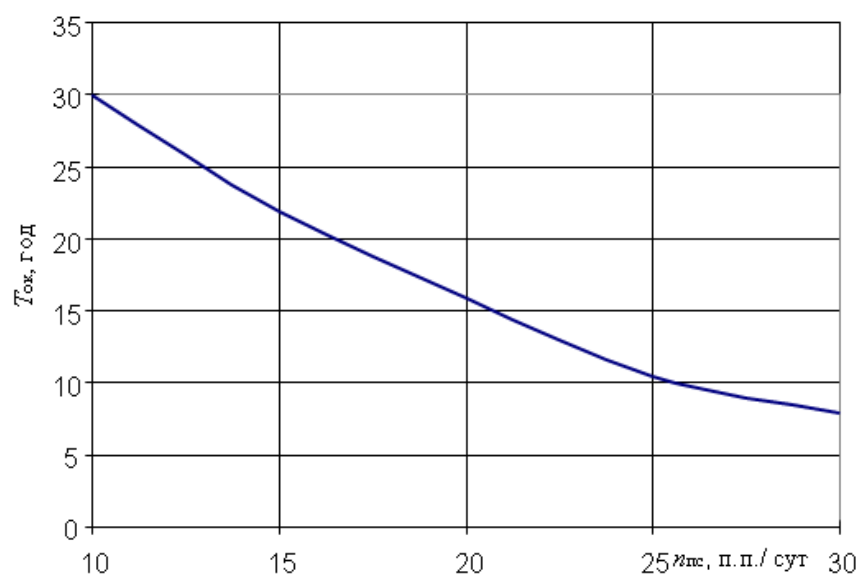


Рисунок 3.16 – Зависимость срока окупаемости затрат по внедрению скоростного движения от размеров пассажирского движения

Объемы переустройства трассы при использовании различного подвижного состава пассажирских поездов

Для определения изменений капиталовложений при использовании подвижного состава с наклоном кузова рассмотрены участки разной сложности плана, характеризуемые величиной среднего радиуса кривых

$$R_{\text{ср}} = 180 \frac{\sum_1^n K_i}{\pi \cdot \sum_1^n \alpha_i^{\circ}}, \quad (3.25)$$

где K_i , α_i° – длина и угол поворота i -той кривой,

n – число кривых.

Определение необходимой длины переустройства сделано для 2-х вариантов: при использовании обычного пассажирского состава и при применении вагонов с наклоном кузова.

Выполнен приближенный расчет длины переустройства в км (L_1 и L_2) и в процентах от общей протяженности трассы (Δ_1 и Δ_2). Результаты расчетов приведены в таблице 3.7 и на рисунках 3.17 и 3.18.

Таблица 3.7 – Приближенная стоимость переустройства трассы существующей линии при введении скоростного движения пассажирских поездов из обычных вагонов и вагонов с наклоном кузова

№ участка	Длина, км	Длина кривых на участке		Сумма углов поворота (град/град/км)		Средний радиус, м	Длина переустройства участка			
							для обычного состава		для вагонов с наклоном кузова	
		км	%	Всего, град.	В среднем на 1 км(град/км)		L ₁ ,км	Δ ₁ ,%	L ₂ ,км	Δ ₂ , %
1	100	41,015	41	2360,13	23,60	996	47,313	47	36,404	36
2	100	35,700	36	2015,38	20,15	1015	33,768	33	16,787	17
3	100	26,078	26	1146,85	11,47	1303	30,699	31	15,369	15
4	100	17,964	18	762,88	7,63	1329	24,345	24	12,35	12

Примечание: участки взяты на направлении Красное – Минск – Брест Бел жел. Дор.

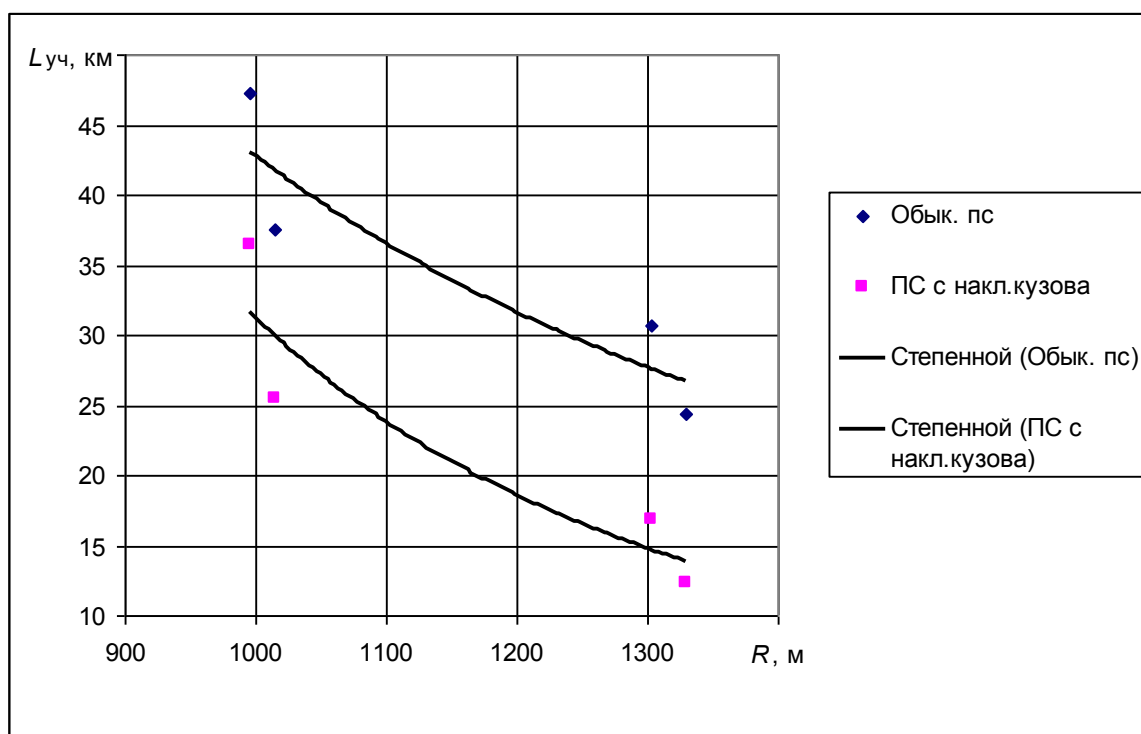


Рисунок 3.17 – Зависимость длины переустраиваемого участка от среднего радиуса на участке

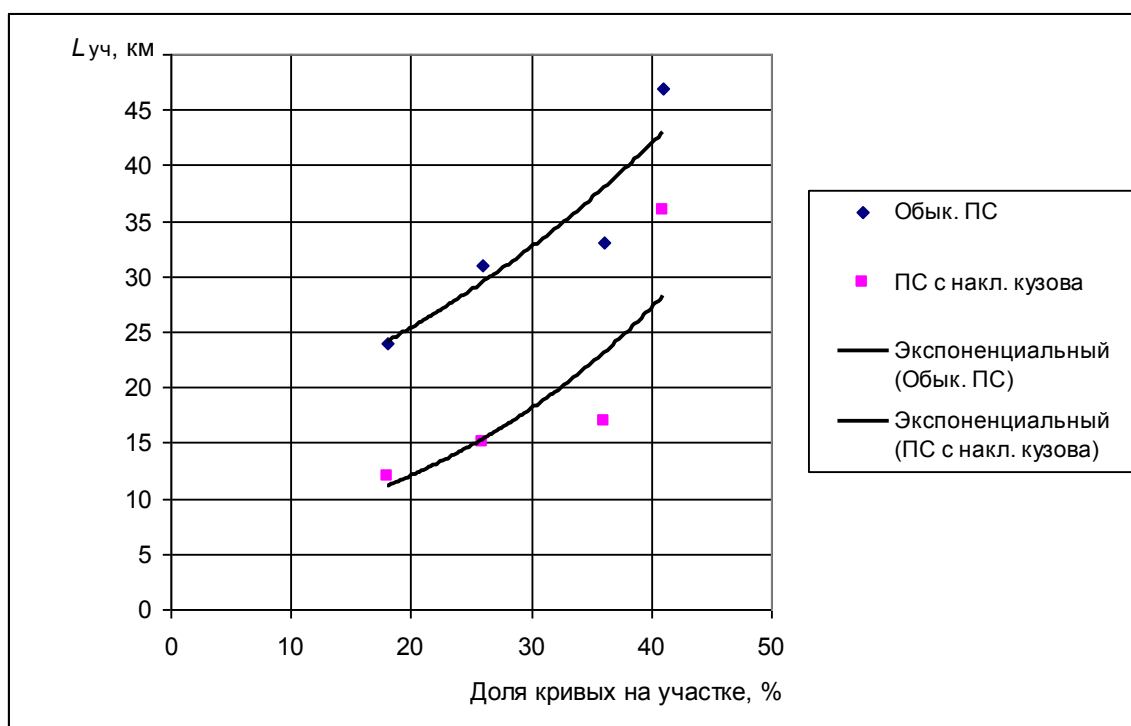


Рисунок 3.18 – Зависимость длины переустраиваемого участка от доли кривых на участке

3.4 Стоимость пассажиро-часа

Эффект увеличения скорости движения выражается количеством сэкономленного времени пассажиров в пути (пассажиро-часами), а в денежном выражении – стоимостью сэкономленных пассажиро-часов [формула (3.16), п.3.3].

В связи с этим необходима методика определения стоимости пассажиро-часа. Сложность определения этой стоимости связана с тем, что учету подлежит разнородный по социальному составу и целям поездки пассажиропоток. Существует несколько методов оценки пассажиро-часа, базирующихся на разных исходных предпосылках.

В условиях плановой экономики в СССР для расчета стоимости пассажиро-часа, $e_{п-ч}$, использовалась формула [40]

$$e_{п-ч} = \frac{\alpha}{720} (\varphi \cdot C_{нд} + \varepsilon \cdot C_{зп}) + 30C_c,$$

где $C_{нд}$ – месячная доля абсолютного размера национального дохода, приходящегося на 1 работника производительной сферы;

$C_{зп}$ – средняя месячная зарплата работников непроизводительной сферы;

C_c – средняя величина суточных, выплачиваемых пассажирам, совершающим деловые поездки;

$\alpha, \varphi, \varepsilon$ – коэффициенты, учитывающие структуру пассажиропотока.

Стоимость одного пассажиро-часа для Республики Беларусь по приведенной методике находится в пределах 3,28 у. е. Расчёты сделаны из предположения обращения на линии «дневных» поездов (вагоны оборудованы местами для сидения) и, в другом варианте поездов, сформированных из плацкартных и спальных вагонов дальнего следования («ночные» поезда).

Другим вариантом методики предлагается принимать за стоимость пассажиро-часа оценку 1 человеко-часа занятого населения.

На железнодорожном транспорте используется тарифная стоимость перевозки пассажиров во всех видах сообщения (городские, пригородные, международные). Регулируемые тарифы по своему уровню очень часто ниже себе-

стоимости перевозок (убыточность пассажирских перевозок), поэтому недостающие доходы компенсируют органы государственной власти.

Тариф на проезд в поездах устанавливается на 1-го пассажира. При этом тарифы являются едиными на всей территории города или целого региона. Пересмотр тарифов проводится эпизодически в увязке с инфляцией в стране.

Как отмечалось выше, особенностью тарифов на проезд в поездах городского, пригородного и междугородного сообщения является то, что они практически во всех регионах России не покрывают текущих затрат, которые несут пассажирские перевозки. Более того, при их установлении не закладываются средства на социальное и производственное развитие. При их утверждении органы государственного управления руководствуются главным образом социальными интересами большей части населения.

Тарифы на перевозку пассажиров во всех видах сообщений в разных регионах страны отличаются друг от друга. Это объясняется не только тем, что текущие затраты на проезд в разных регионах неодинаковы, но и социальной политикой, которой придерживаются органы власти в регионах.

В качестве исходной базы для установления тарифов на перевозку пассажиров принимают нормативную себестоимость по видам перевозок (городские, пригородные), объем дохода на покрытие затрат с учетом выделенных из бюджета дотаций, размеры перевозок пассажиров и пассажирооборот.

Полная стоимость железнодорожного билета – величина многосоставная, включающая несколько подструктур. Постоянно изменяются составные 110еличиины, из которых складываются железнодорожные билеты. Сейчас в полную стоимость билетов на поезда дальнего следования входят: непосредственно цена билета на поезд (плата за использование инфраструктуры самой железной дороги); стоимость плацкарты (плата за «бронирование» места в нужном поезде); комиссионный сбор (при покупке проездного документа раньше, чем за 9 суток до предполагаемой поездки. Различны также стоимости билетов при оформлении на станции формирования и промежуточных станциях. Имеют место еще ряд условий, определяющих плату за проезд.

Цена билетов на поезд зависит также и от сезона. В летний период цены существенно выше, чем на те же направления осенью или зимой.

В исследовании рассмотрена методика расчета базовой стоимости железнодорожного билета на любой поезд формирования РЖД как по внутрироссийским маршрутам, так и на поезда, следующие в Беларусь. Вычисляемая базовая стоимость не учитывает дополнительные услуги фирменных поездов (питание и прочее), сервисные сборы и VIP классы.

Принцип формирования базовой (тарифной) стоимости билета – зонный, длина одной зоны увеличивается в зависимости от общего расстояния.

Каждая зона имеет длину и границы. Также для расчета используются следующие данные: расстояние, дата поездки (для определения сезонного коэффициента); род вагона и категория. В результате расчетов получается базовая стоимость билета (без услуг и сервисных сборов)

$$P = (L_a + L_n)P_{1\text{км}} \cdot M \cdot K_s,$$

где L_n – расчетное расстояние, км;

L_a – добавочное расстояние, зависящее от категории вагона, км;

$P_{1\text{км}}$ – стоимость одного километра, исходя из типа, категории поезда и вагона;

M – межгосударственный коэффициент;

K_s – сезонный коэффициент, определяемый исходя из даты поездки.

Также можно предположить использование при определении стоимости пассажиро-часа разницы в тарифной стоимости времени проезда по параллельным маршрутам с учетом распределения пассажиров между этими маршрутами. Исследования железнодорожных и авиационных маршрутов позволяют выявить зависимость стоимости пассажиро-часа от дальности маршрута и количества сэкономленного времени. Так, если рассмотреть стоимость билета пассажирского и скорого поездов, то заметна существенная разница, так же как и заметна разница во времени нахождения в пути.

Рассмотрев некоторые направления железнодорожных линий, можно получить среднюю оценку времени пассажиров. По данным расчетов на некоторых направлениях (таблице 3.8) она составила около 100 руб.

В Республике Беларусь стоимость проезда в пассажирском либо в скором пассажирском поезде определяется исходя из тарифного пояса, расстояния, типа вагона по специальным таблицам, в которых приводится стоимость в швейцарских франках на 1 километр пути (таблице 3.9). Путем умножения тарифа на длину участка следования получают базовую стоимость билета.

Таблица 3.8 – Определение средней стоимости времени пассажиров в пути

Направление	Стоимость проезда в пассажирском поезде, руб.			Стоимость проезда в скором поезде, руб.			Стоимость пасс-ч, руб.	
	купе	плацкарт	время в пути, час	купе	плацкарт	время в пути, час	купе	плацкарт
Москва-С.Петербург	1360	875	11,4	2173	1257	7,65	216,80	101,87
Москва-Владивосток	11020	5662	162	14345	8437	144	184,72	154,17
Москва-Екатеринбург	3505	1758	32	4237	2581	27	146,40	164,60
Москва-Минск	2546	1339	11,9	2610	1436	8,62	19,39	29,39
Москва-Брест	3439	1878	25	3929	2063	12,32	38,62	14,59
Москва-Волгоград	2520	1287	25	2850	1758	18,67	52,11	74,37
Итого, руб.							109,68	89,83
Средняя стоимость пассажиро-часа в пути, руб.							99,75	

Таблица 3.19 – Стоимость билета в пассажирском и скором поезде (в швейцарских франках)

Номер тарифного пояса	Расстояние в км от – до	Пассажирский поезд			
		жесткий вагон, места для сидения	жесткий вагон, спальные места	жесткий вагон, 4-х местные купе, спальные места	мягкий вагон, 2-х местные купе (СВ)
01	1 – 10	1,10	1,20	1,80	3,63
02	11 – 20	1,18	1,30	1,95	3,88
03	21 – 30	1,25	1,38	2,08	4,15
...	...	...	...	...	...
37	1301 – 1400	10,28	12,88	19,38	38,83

В формировании стоимости пассажиро-часа, а, следовательно, и стоимости билета совсем недавно стал использоваться принцип «динамического ценообразования». Суть его в том, что отбирается перечень направлений проведе-

нием маркетинговых опросов и согласования с государственными регулирующими органами. На каждом направлении действуют тарифные планы, сформированные для сезона, дня недели и объемов перевозок. При этом в некоторых случаях, минимальный тариф в вагонах купе будет лишь незначительно превышать тарифы, действующие в плацкартных вагонах. В первый день продаж (за 45 дней до отправления поезда) пассажиру гарантированно доступен минимально возможный тариф для данного поезда.

Далее, по мере заполнения мест в вагонах поезда и в случае высокого спроса на конкретную дату, тариф увеличивается.

В этом и заключается принцип «динамического ценообразования». Чем выше спрос и меньше мест, тем выше цена на билеты. Однако, в случае низкого спроса, а также при наличии в свободной продаже на рынке более низких тарифов конкурентов, продажа по низким тарифам может продолжаться вплоть до даты отправления.

Анализируя результаты расчетов по различным методикам, можно отметить, что стоимость пассажиро-часов, а также стоимость билета получаются приблизительно одинаковыми. Разница колеблется в пределах $\pm 5-10\%$.

Оценка стоимости пассажиро-часа по затратам на увеличение скоростей движения пассажирских поездов.

Для целей сравнения вариантов и принятия проектных 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 $K_{рек.}$, на приобретение подвижного состава с учетом возврата от продажи существовавшего подвижного состава – $(K_{пс.} - K_{пс(воз.)})$.

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_n .

Тогда

$$[K_{\text{рек}} + (K_{\text{пс}} - K_{\text{пс(воз.)}})]/T_{\text{н}} + \Delta C(1 + P_{\text{ср}}) = 730n_{\text{пас}} \cdot m \cdot \alpha_{\text{зап}} \cdot \Delta T \cdot e_{\text{пас-ч}}. \quad (3.26)$$

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

$$e_{\text{пас-ч}} = \frac{K_{\text{рек}} + (K_{\text{пс}} - K_{\text{пс(воз.)}}) \pm \Delta C \cdot (1 + P_{\text{ср}}) \cdot T_{\text{н}}}{730n_{\text{пас}} \cdot m \cdot \alpha_{\text{зап}} \cdot \Delta T \cdot T_{\text{н}}}, \quad (3.27)$$

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

3.5 Выводы по главе 3

1. В исследовании выполнен анализ параметров плана трассы при обращении на линии вагонов с наклоном кузова.

Предложена методика расчета величины радиуса, необходимого для скоростного движения пассажирских поездов при обычном подвижном составе и вагонах с наклоном кузова (рисунок 3.8).

В результате исследования установлена зависимость между скоростью и радиусом. Выполненные варианты расчеты показывают, что применение вагонов с наклоном кузова позволяет на существующих радиусах увеличить скорость движения на 10-45% в зависимости от величины радиуса и угла наклона.

Установлено возвышение наружного рельса, обеспечивающее комфортность езды пассажиров при использовании вагонов с наклоном кузова (таблицы 3.1 и 3.2).

Эти параметры определены индивидуально для каждой кривой в автоматизированном режиме.

2. Реализация скоростного движения с использованием подвижного состава с наклоном кузова на существующих железнодорожных линиях приводит к необходимости увеличения междупутий для обеспечения безопасности вписывания в габариты при прохождении кривой двухпутного участка подвижного состава с наклоном кузова разного направления. Предложена формула для определения необходимого дополнительного уширения междупутья (формула 3.19);

3. Определена структура затрат и доходов, которые необходимо учитывать при обосновании эффективности введения скоростного движения и сравнении при этом вариантов проектных решений.

Выполнен пример расчета сравнительной и общей эффективности при реконструкции для скоростного движения.

Для определения общей эффективности использования вагонов с наклонным кузова сделан расчет ЧДД и срока окупаемости затрат. Выполнен анализ затрат, составляющих ЧДД. К составляющим ЧДД, изменяющимся с изменением скорости движения отнесены стоимость пассажиро-часа и эксплуатационные расходы. Мировая практика показывает, что для своевременной окупаемости проектов необходимы дотации государства. В нашем случае они имеют место и вставлены в ЧДД (Д). Из графиков видно, что срок окупаемости при госдотациях составят 6 лет при размерах перевозок 25 п.п./сут.

Рассмотрено влияние подвижного состава с наклоном кузова на объемы работ при реконструкции плана.

4. 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 (формула 3.27).

4 ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ДЛЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

4.1 Алгоритм принятия решений в условиях неопределенности

В данном исследовании принятие решения заключается в выборе одного из возможных вариантов реконструкции железной дороги под высокие скорости. Необходимость реконструкции железной дороги при введении скоростного движения поездов обусловлена рядом причин.

Пассажирское движение снимает часть грузовых поездов, что особенно ощутимо в условиях возрастания скоростей движения пассажирских поездов. Основным показателем здесь является коэффициент съема, величина которого зависит от скоростей движения грузовых и пассажирских поездов, длин перегонов и их не идентичности, путевого развития станций, расчетного межпоездного интервала и ряда других факторов. В этой связи может возникнуть необходимость усиления мощности дороги – увеличения её пропускной и провозной способности.

При скоростном движении для обеспечения комфортабельности пассажиров предъявляются более жесткие требования к плану линии. Кривые малых радиусов необходимо уполоаживать, длины прямых вставок и переходных кривых - увеличивать для стабилизации подвижного состава на концах круговых кривых.

Для обеспечения безопасности и бесперебойности движения поездов пересечения с автодорогами необходимо осуществлять в разных уровнях. Требуется замена стрелочных переводов, переустройство пассажирских платформ.

Кроме того, должны быть модернизированы устройства СЦБ и связи, усилена контактная сеть и тяговые подстанции, а также приняты меры по защите окружающей среды.

Реконструктивные мероприятия для повышения скоростей движения на железной дороге должны проектироваться так, чтобы были обеспечены безо-

пасность и бесперебойность движения поездов, сократилось время пассажиров в пути при обеспечении потребных размеров перевозок и наименьших строительно-эксплуатационных затратах.

Решение поставленных задач проектирования реконструкции железной дороги осуществляются *на основе методов теории принятия решений*.

Процедура принятия решений состоит из следующих этапов [49]: содержательная постановка задачи, формализация задачи, выбор критерия, математическая постановка задачи, формирование множества возможных допустимых вариантов, выбор метода и решение задачи, принятие решения.

Содержательная постановка задачи – это словесное ее описание.

Формализация задачи. Цель формализации состоит в переводе содержательной постановки с естественного языка понятий и терминов на язык математики – в символы и формулы.

Выбор критерия. Критерий – это показатель, с помощью которого производится оценка вариантов.

Математическая постановка задачи. Множество параметров, участвующих в задаче, можно разделить на три группы: параметры цели (размеры перевозок): $x_1, x_2, \dots$; параметры системы (железной дороги): $y_1, y_2, \dots$; критерий W .

Располагая параметрами и критерием, можно сформулировать математическую постановку задачи: найти такую совокупность удовлетворяющих ограничениям параметров $y_1, y_2 \dots$ системы (железной дороги), при которой обеспечивались бы параметры цели $x_1, x_2 \dots$ (размеры перевозок) при минимальном (максимальном) критерии (денежных затратах) W .

Формирование множества возможных вариантов. Любая проектная задача имеет множество решений (вариантов).

Выделение множества допустимых вариантов. Варианты, входящие в множество возможных, но не удовлетворяющие ограничениям, накладываемым на параметры железной дороги, исключаются из рассмотрения. Остальные варианты образуют множество допустимых решений.

Выбор метода и решение задачи. Выбор метода заключается в установлении наиболее подходящей математической процедуры для решения задачи, учитывающей ее формализованную модель, структуру критерия и ограничений.

Принятие решения. На основе информации, получаемой в результате применения математического аппарата, а также анализа всех показателей вариантов, учитывающих взаимодействие подсистем, а также взаимодействие системы с окружающей средой и надсистемой, принимается решение.

Методика выбора технических параметров реконструкции в условиях неопределенности исходной информации согласно данному алгоритму (рисунок 4.1) происходит следующим образом.

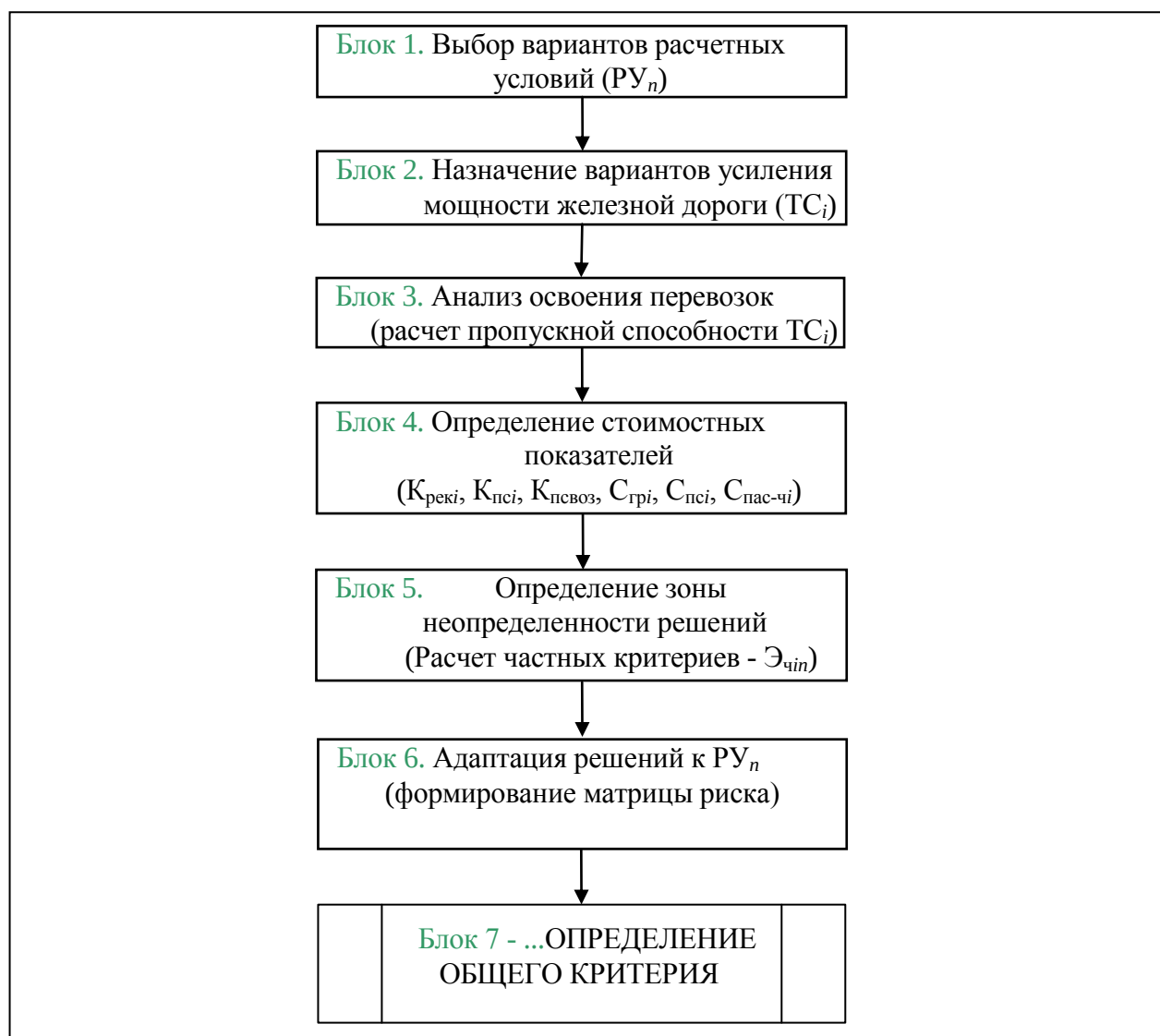


Рисунок 4.1 – Блок-схема алгоритма выбора технических параметров реконструкции для скоростного движения в условиях неопределенности

В блоке 1 должны быть *определены варианты расчетных условий* ($РУ_n$ –сценариев, в которых будет осуществляться эксплуатация дороги.

Необходимо выделить те факторы неопределенности, которые для данного проектного случая наиболее значимы. Кроме того, нужно определить варианты значения факторов неопределенности. Возможные сочетания вариантов значений факторов неопределенности определяют различные сценарии развития условий реализации проекта. Максимальное число вариантов составляет

$$N = \prod_{\phi=1}^{\Phi} R_{\phi}, \quad (4.1)$$

где Φ – число факторов неопределенности $1 \dots \phi \dots \Phi$;

R_{ϕ} – количество вариантов значений каждого фактора ϕ .

При установлении факторов неопределенности следует иметь ввиду, что железнодорожная линия - это сложная техническая система большого линейного протяжения, расположенная в различных природных и техногенных условиях. Эти условия влияют на строительно-эксплуатационные показатели железной дороги, её пропускную и провозную способности и должны быть изучены в процессе разработки проекта. Полученные данные могут быть неполными или содержать ошибки. Поэтому обоснованность выбранных для реконструкции железных дорог технических параметров зависит от учета в методах расчета условий неопределенности. При этом под неопределенностью понимается не полное отсутствие информации о тех или иных данных, а только то, что эти данные неточные и возможно их изменение с течением времени. Например, капитальные затраты напрямую зависят от цен на материалы, стоимости работ, объемов выполняемых работ и других показателей. Эксплуатационные расходы также имеют в своей структуре ряд составляющих, которые нельзя точно определить на перспективу. Коэффициент дисконтирования зависит от нормы дисконта E , которая также может изменяться с течением времени. Как отмечено в п.2.3, также могут существенно отличаться от прогнозируемых значений проектные грузо- и пассажиропотоки на расчетные годы эксплуатации.

Далее (**блок 2**) производится назначение возможных вариантов комплекса технических параметров и средств технического оснащения для усиления мощности реконструируемой железной дороги, определяющих её техническое состояние после реконструкции (ТС_г).

Как правило, железные дороги, реконструируемые для скоростного движения пассажирских поездов, относятся к магистральным двухпутным линиям с электрической тягой. Поэтому набор вариантов усиления мощности ограничен.

В состав мероприятий по увеличению пропускной способности следует включить реконструкцию постоянных устройств в неудовлетворительном состоянии для отмены временных ограничений скоростей, модернизацию устройств СЦБ для уменьшения межпоездного и станционных интервалов и др.

Возможно также увеличение массы грузовых поездов за счет усиления мощности тяговых средств или удлинения приёмо-отправочных путей.

В некоторых случаях следует рассмотреть устройство дополнительного главного пути, а также перераспределение перевозок с использованием параллельных направлений или других видов транспорта.

В **блоке 3** предполагается выполнить анализ освоения перевозок. Необходимо сделать тяговые расчеты и определить возможную пропускную способность намеченных технических состояний и, сопоставив их с потребной пропускной способностью, выявить их соотношение. Надо исключить состояния в некоторых расчетных условиях, если они не справляются с заданными размерами перевозок или предусмотреть возможность дополнительных мероприятий, позволяющих адаптировать линию к данным внешним расчетным условиям.

В **блоке 4** выполняются расчеты по определению стоимости переустройства магистрали, обусловленной необходимостью усиления мощности линии и реконструктивными мероприятиями, связанными с реализацией высоких скоростей движения пассажирских поездов.

В этом же блоке необходимо определить эксплуатационные расходы и стоимости времени нахождения пассажиров в пути. Кроме того, необходимо

определить затраты на приобретение подвижного состава и установить величину возврата за счет реализации существующих вагонов и локомотивов.

На следующем этапе (**блок 5**) устанавливаются показатели частных критериев для всех назначенных технических состояний в каждом из расчетных случаев внешних условий, принятых к рассмотрению. Критерий, как правило, денежный, включает в себя составляющие, анализ которых выполнен в п.3. При этом могут рассматриваться как одноэтапные, так и многоэтапные затраты в период эксплуатации дороги, принятый для сравнения. При использовании многоэтапных затрат, когда анализу подлежит этапное наращивание мощности линии, необходимо оптимизировать схему освоения перевозок при фиксированном начальном состоянии.

В результате должна быть сформирована матрица частных критериев, характеризующая назначенные технические состояния в каждом из вариантов расчетных условий (таблице 4.1).

Таблица 4.1 – Матрица показателей частных критериев проектных решений в различных расчетных условиях

Решения i \ Расчетные условия n	1	...	n	...	N
1	$\mathcal{E}_{q11}$	...	$\mathcal{E}_{q1n}$	...	$\mathcal{E}_{q1N}$
...	...	...	...	...	...
i	$\mathcal{E}_{qi1}$	...	$\mathcal{E}_{qin}$	...	$\mathcal{E}_{qiN}$
...	...	...	...	...	...
I	$\mathcal{E}_{qI1}$	...	$\mathcal{E}_{qIn}$	...	$\mathcal{E}_{qIN}$

Совокупность решений, охватывающая все расчетные внешние условия, составляет зону неопределенности для рассматриваемой задачи.

В **блоке 6** необходимо рассмотреть варианты, не удовлетворяющие поставленной задаче - обеспечение заданных размеров перевозок. В этом случае надо адаптировать решение к расчетным условиям - предусмотреть мероприятия по усилению пропускной и провозной способности или разгрузке линии за счет параллельных направлений.

На основании таблицы 4.1 формируется матрица рисков (таблица 4.2) по условию

$$r_{in} = \Delta_{chin} - \min \Delta_{chin},$$

где Δ_{chin} - показатель частного критерия для i -го проектного решения в n -х расчетных условиях; $\min \Delta_{chin}$ – показатель критерия для наиболее рационального проектного решения в расчетных условиях n .

Матрица рисков показывает дополнительные затраты для решения i по сравнению с наиболее рациональным решением в рассматриваемых расчетных условиях n .

Таблица 4.2 – Матрица рисков

Решения i \ Расчетные условия n	1	...	n	...	N
1	r_{11}	...	r_{1n}	...	r_{1N}
...	...	...	...	...	...
i	r_{i1}	...	r_{in}	...	r_{iN}
...	...	...	...	...	...
I	r_{I1}	...	r_{In}	...	r_{IN}

В блоках 7 - ... необходимо выбрать метод оценки решения в условиях неопределенности, определить общий критерий принятия решения и установить наиболее рациональное проектное решение с учетом всех расчетных условий.

Достоверность выбора технических параметров в проекте железнодорожной линии, во многом, зависит от корректно принятого метода сравнения, а также критерия оптимальности решения.

4.2 Методика расчета интегрального вероятностного критерия

Исходными данными для определения ИВК [53] является матрица рисков. Также может быть использована матрица частных критериев.

При использовании матрицы рисков для каждого варианта проектных решений i составляются зависимости математического ожидания потерь от вероятности реализации расчетных условий p_n , изменяющейся в диапазоне от 0 до 1

$$M_{in}(p_n) = r_{in}p_n + \sum_{j=1}^{N-1} r_{ij}p_j \quad (4.2)$$

где r_{in} – элемент матрицы риска для рассматриваемых РУ;

r_{ij} – элемент матрицы риска при остальных РУ.

Вероятность реализации остальных расчетных условий принимается одинаковой

$$p_j = \frac{1 - p_n}{N - 1} \quad (4.3)$$

Подставляя формулу для p_j в выражение (4.2), получаем:

$$M_{in}(p_n) = \left(r_{in} - \frac{\sum_{j=1}^{N-1} r_{ij}}{N-1} \right) \cdot p_n + \frac{\sum_{j=1}^{N-1} r_{ij}}{N-1} \quad (4.4)$$

Примем обозначения:

$$k_{in} = r_{in} - \frac{\sum_{j=1}^{N-1} r_{ij}}{N-1}, \quad b_{in} = \frac{\sum_{j=1}^{N-1} r_{ij}}{N-1} \quad (4.5)$$

В результате получаем математическое ожидание потерь в виде линейного относительно p_n уравнения

$$M_{in}(p_n) = k_{in} \cdot p_n + b_{in} \quad (4.6)$$

Таким образом, для каждого варианта расчетных условий $n \in N$ получаем систему линейных зависимостей из I уравнений, где I – количество решений в зоне неопределенности

$$\sum_{n=1}^{n=N} k_{in} \cdot p_n = bi \quad (i=1, 2, \dots, I)$$

или в развернутом виде

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

.....

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

.....

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

Пересечения линий, характеризуемых этими уравнениями, позволяют установить границы вероятностей, при которых оптимальное и субоптимальное решения равноценны.

Анализ абсцисс этих точек пересечений позволяет установить интервалы вероятностей реализации расчетных условий, в которых то или иное решение является наиболее рациональным. Далее вычисляется интегральный вероятностный критерий (ИВК).

Расчет общего интегрального вероятностного критерия (ИВК) выполняется в последовательности, указанной на рисунке 4.2.

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 (4.5) 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 4.3 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. На рисунке 4.3 очевидно преимущество технического состояния $i=4$. Тогда наиболее рациональное решение очевидно и необходимо перейти к блоку 6.

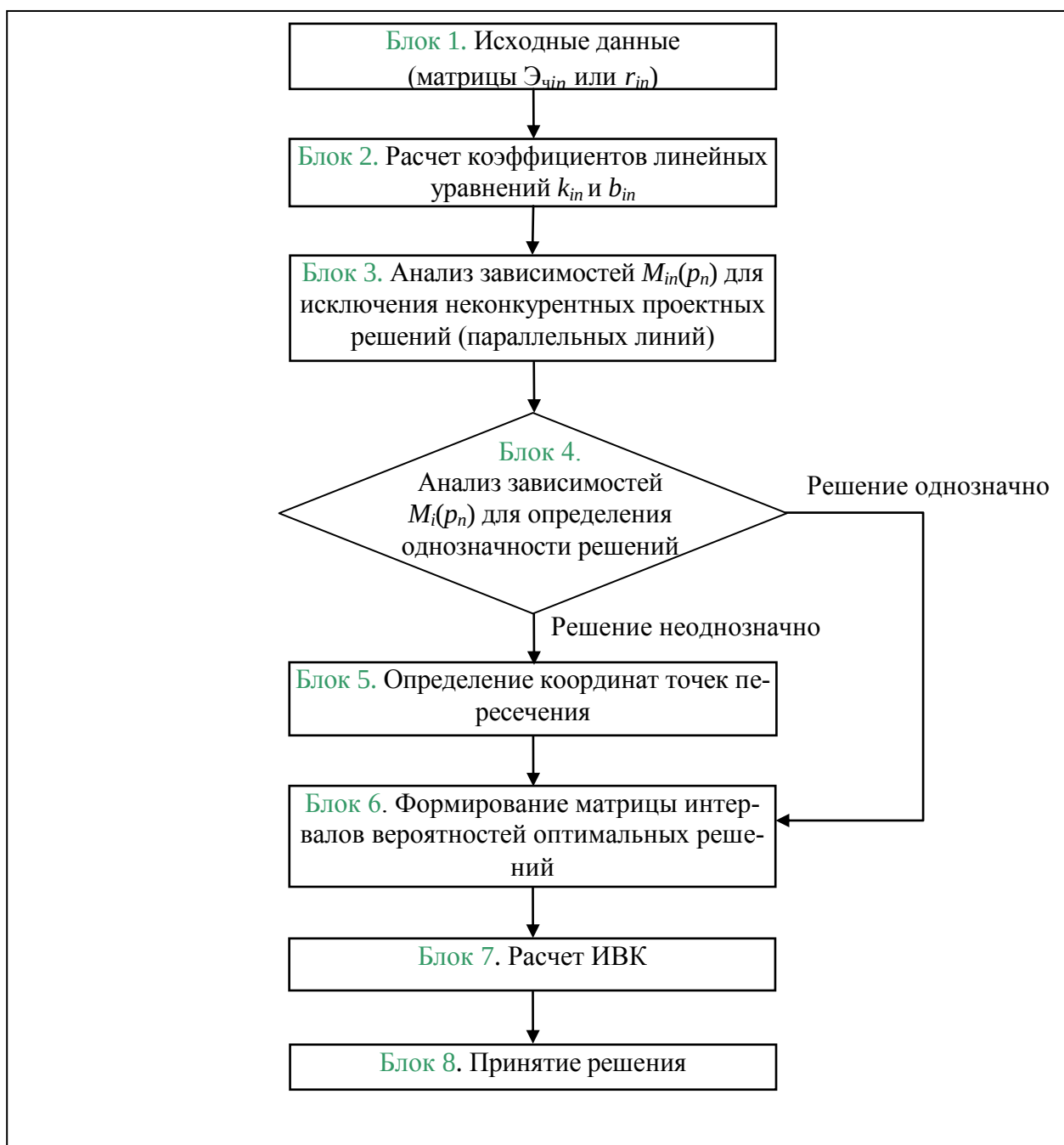
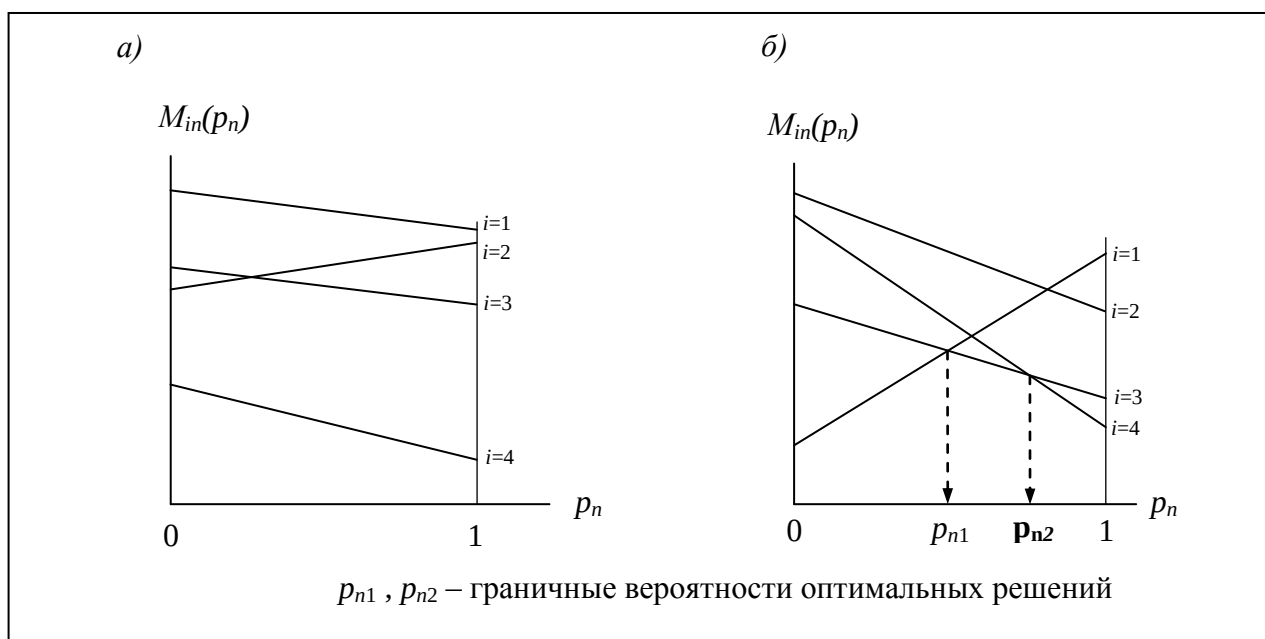


Рисунок 4.2 – Блок-схема алгоритма расчета интегрального вероятностного критерия

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.).

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

Рисунок 4.3 – Варианты соотношения зависимостей $M_{in}(p_n)$

Сначала следует определить принадлежность абсциссы точки пересечения к интервалу $0 \leq p \leq 1$. 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 4.3).

Блок 7. Расчет ИВК. Таблица 4.1 служит основанием для вычисления интегрального вероятностного критерия по формуле

$$\alpha_p = \frac{\sum_{j=1}^{j=N} \Delta p_j}{N}, \quad (4.7)$$

где $\Delta p_i = p_k - p_n$, p_k, p_n – значения вероятностей конца и начала интервала оптимального решения соответственно (см. рисунок 4.3).

Таблица 4.3 – 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	...

В качестве оптимального выбирается вариант с максимальными значениями α_p .

4.3 Выводы по главе 4

Выполнен анализ общего алгоритма принятия решений в условиях неопределенности при выборе технических параметров по увеличению провозной способности линии, реконструируемой для перехода на скоростное движение пассажирских поездов.

Подробно исследована структура денежного критерия для сравнения вариантов на реконструируемых линиях со смешанными грузовыми и пассажирскими поездами для скоростного движения поездов.

Разработан алгоритм определения интегрального вероятностного критерия применительно к рассматриваемой задаче.

Предложена методика принятия решения по выбору технических параметров и средств оснащения линии с учетом неопределенности при реконструкции для скоростного движения пассажирских поездов.

5. ПРИМЕР ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ДЛЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

5.1 Исходные данные

Характеристика участка железной дороги

Взятый для разработки примера участок железнодорожной линии расположен во втором транспортном коридоре, проходящем по территории Республики Беларусь.

Основные технические параметры:

- руководящий уклон – 9 ‰;
- длина участка – 192 км;
- полезная длина приемо-отправочных путей $l_{по} = 850$ м;
- число главных путей – 2 пути;
- вид тяги – электрическая переменного тока (ЧС4т, ВЛ80к);
- устройство СЦБ – автоблокировка;
- способ организации движения (вид графика) – пакетный.
- весовая норма – $Q_{вн} = 3200$ т.

Размеры перевозок

Грузовые перевозки – 30 млн. ткм/км в год.

Пассажирское движение – 10-30 п.п./сутки.

Расчетные условия

В результате анализа возможных вариантов эксплуатации железной дороги после реконструкции для скоростного движения пассажирских поездов установлены два фактора неопределенности – размеры перевозок и величина стоимости пассажиро-часа. Принято три варианта размеров пассажирского движения ($n_{псi}$ в парах поездов в сутки) а также два варианта стоимости пассажиро-часа ($e_{п-чj}$ в у.е./п-ч): $n_{пс1}=10$; $n_{пс2}=20$; $n_{пс3}=30$; $e_{п-ч1}=3.3$; $e_{п-ч2}=6,6$.

Таким образом, анализу подлежат $N=3 \times 2=6$ вариантов расчетных условий:

$$PY_n \Rightarrow n_{пс1} e_{п-ч1}, n_{пс1} e_{п-ч2}, n_{пс2} e_{п-ч1}, n_{пс2} e_{п-ч2}, n_{пс3} e_{п-ч1}, n_{пс3} e_{п-ч2}.$$

Анализ пропускной способности железнодорожной линии

Необходимые и возможные пропускные способности линии при существующем техническом состоянии и принятых в примере размерах перевозок определена в соответствии с Инструкцией по расчету наличной пропускной способности [23]. Результаты расчетов при скоростях пассажирских поездов до 120 км/ч показаны на рисунке 5.1.

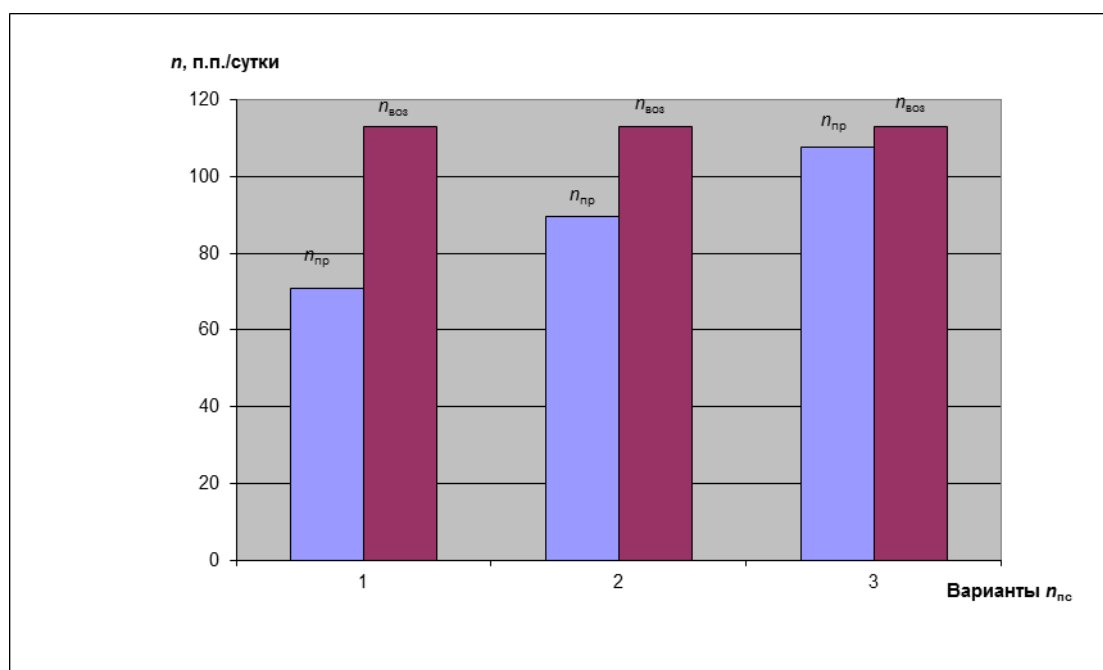


Рисунок 5.1 – Необходимая и возможная пропускные способности участка железной дороги при существующем техническом состоянии линии и $V_{\max(пс)}=120$ км/ч: $n_{пр}$ –потребное количество пар приведенных поездов в сутки; $n_{воз}$ –возможное количество пар поездов в сутки; варианты $n_{пс}$: 1–10 п.п./сутки; 2–20 п.п./сутки; 3–30 п.п./сутки.

Как следует из сопоставления пропускных способностей, железная дорога обеспечивает заданные размеры перевозок при всех расчетных вариантах внешних расчетных условий.

Коэффициент съема грузовых поездов пассажирскими определен по рекомендациям [23]. Расчеты показали, что в принятых для примера условиях коэффициент съема пассажирскими поездами при увеличении скоростей от 120 до 200 км/ч возрастает от 1,98-1,89 до 3,17-2,90.

На рисунке 5.2 показаны необходимая и возможная пропускные способности участка железной дороги при существующем техническом состоянии ли-

нии и $V_{\max(\text{пс})}=200$ км/ч с учетом увеличения съема грузовых поездов пассажирскими.

В расчетах возможной пропускной способности при скоростном движении увеличен резерв на плановые ремонты и текущее содержание постоянных устройств со 120 до 240 мин.

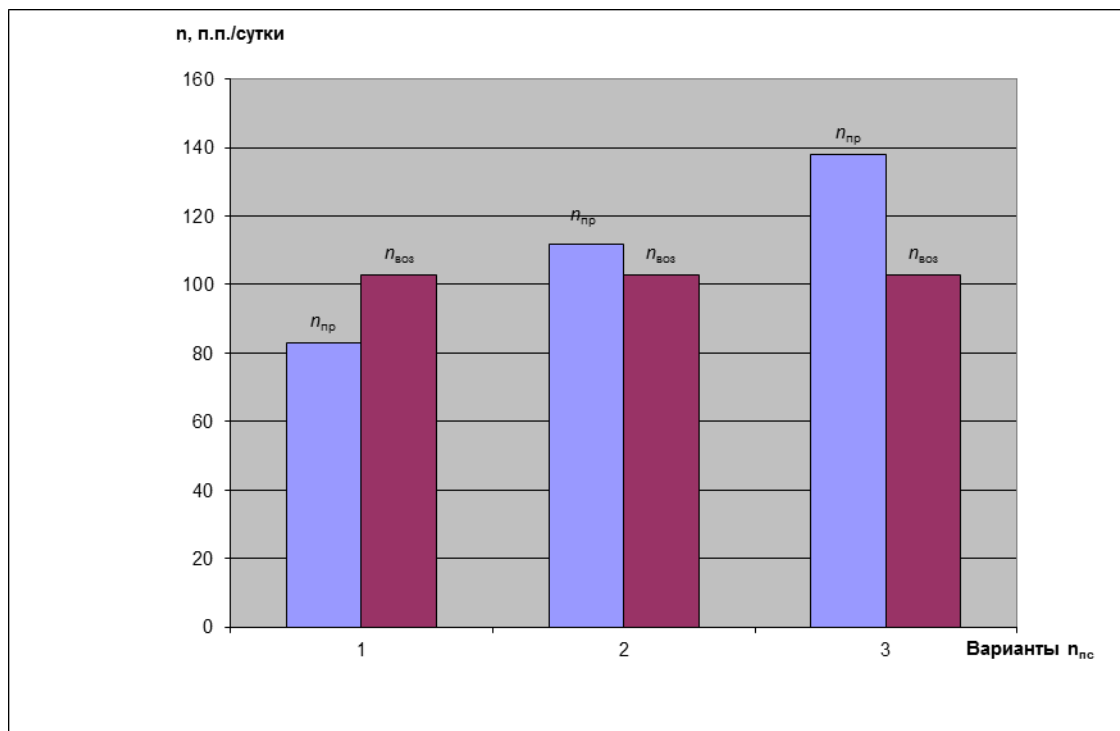


Рисунок 5.2 – Необходимая и возможная пропускные способности участка железной дороги при существующем техническом состоянии линии и $V_{\max(\text{пс})}=200$ км/ч:

$n_{\text{пр}}$ –потребное количество пар приведенных поездов в сутки; $n_{\text{воз}}$ –возможное количество пар поездов в сутки; варианты $n_{\text{пс}}$: 1–10 п.п./сутки; 2–20 п.п./сутки; 3–30 п.п./сутки.

Как видно на рисунке 5.2, для второго и третьего вариантов размеров пассажирских перевозок железная дорога должна быть реконструирована с целью увеличения её провозной способности.

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 со специализацией его для грузового движения при частично-пакетном графике;

3) строительство III главного пути совместно с удлинением приемо-отправочных путей.

Выполнены расчеты пропускных способностей после усиления мощности дороги за счет указанных мероприятий. Результаты определения пропускных способностей железной дороги после усиления мощности при скоростном движении пассажирских поездов приведены на рисунках 5.3 – 5.5.

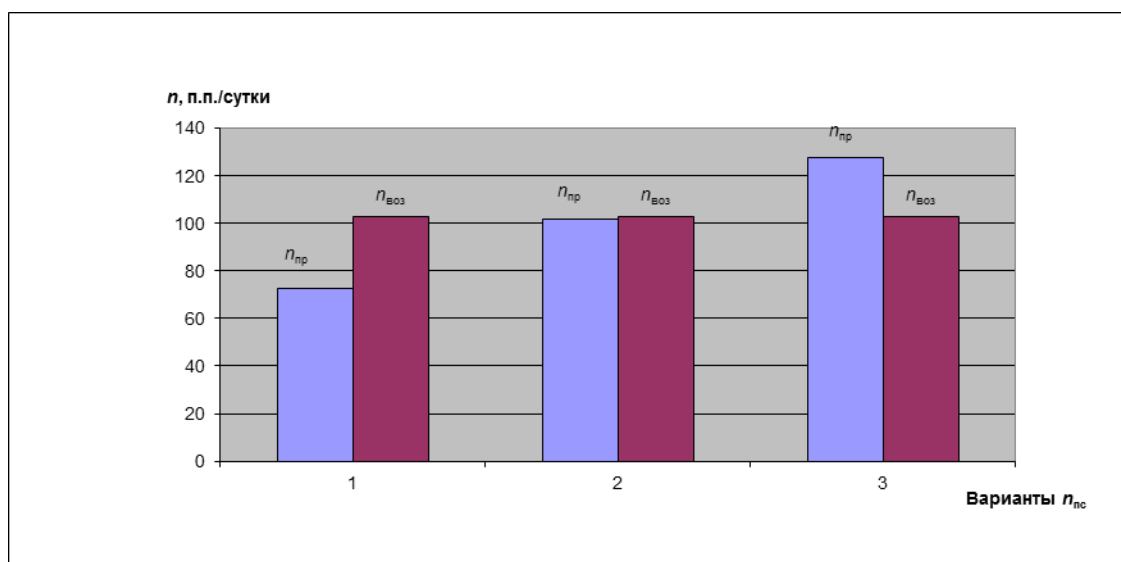


Рисунок 5.3 – Необходимая и возможная пропускные способности участка железной дороги после удлинения приемо-отправочных путей линии при $V_{\max(пс)}=200$ км/ч:

$n_{пр}$ —потребное количество пар приведенных поездов в сутки; $n_{воз}$ —возможное количество пар поездов в сутки; варианты $n_{пс}$: 1–10 п.п./сутки; 2–20 п.п./сутки; 3–30 п.п./сутки.

Анализ соотношения возможных и необходимых пропускных способностей, приведенных на рисунках 5.3 – 5.5, показывает, что в вариантах расчетных условий при размерах пассажирского движения 30 п.п. в сутки усиления мощности дороги за счет удлинения приемо-отправочных путей или строительства второго пути недостаточно.

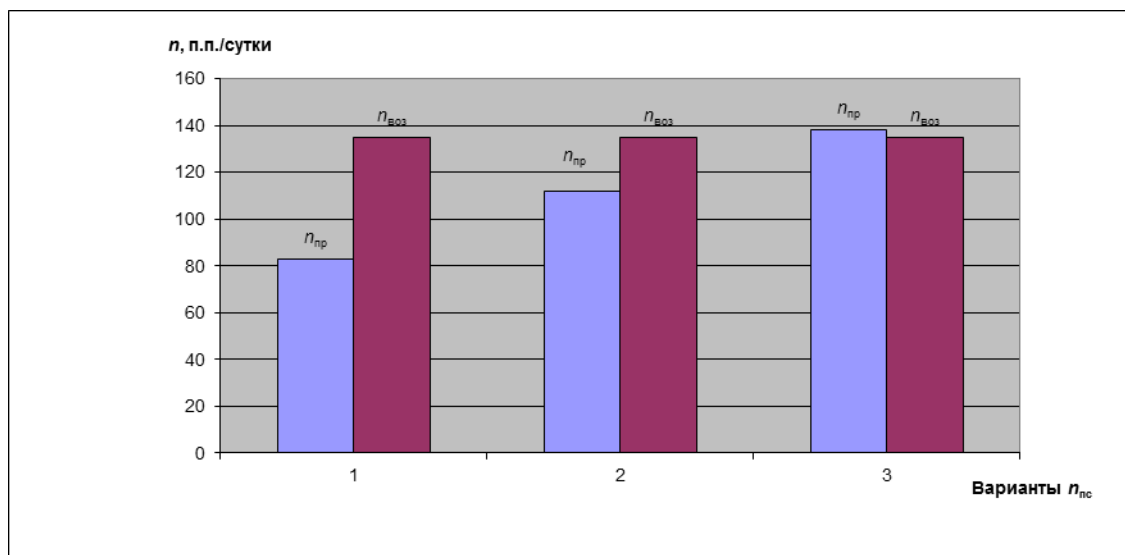


Рисунок 5.4 – Необходимая и возможная пропускные способности участка железной дороги после строительства третьего пути при $V_{\max(пс)}=200$ км/ч:

$n_{пр}$ –потребное количество пар приведенных поездов в сутки; $n_{воз}$ –возможное количество пар поездов в сутки; варианты $n_{пс}$: 1–10 п.п./сутки; 2–20 п.п./сутки; 3–30 п.п./сутки.

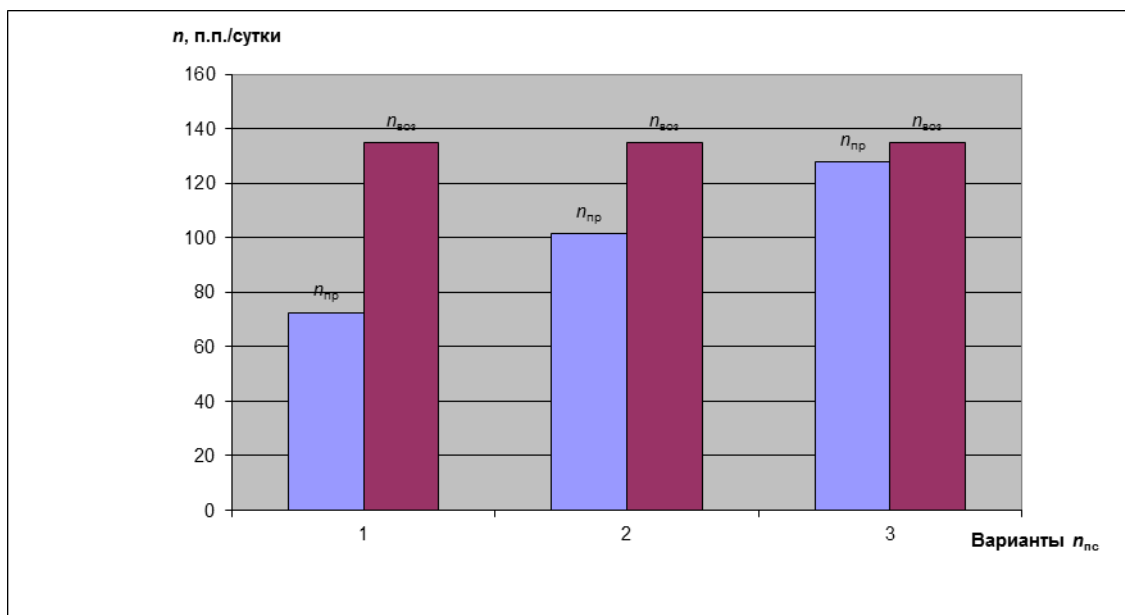


Рисунок 5.5 – Необходимая и возможная пропускные способности участка железной дороги после строительства третьего пути и удлинения приемо-отправочных путей при $V_{\max(пс)}=200$ км/ч:

$n_{пр}$ –потребное количество пар приведенных поездов в сутки; $n_{воз}$ –возможное количество пар поездов в сутки; варианты $n_{пс}$: 1–10 п.п./сутки; 2–20 п.п./сутки; 3–30 п.п./сутки.

Следовательно, в вариантах расчетных условий $n_{пс3} e_1$ и $n_{пс3} e_2$ будут нужны дополнительные меры по усилению мощности линии. В исследовании принято, что в этих расчетных условиях ($n_{псi}=30$ п.п./сутки) в вариантах проектного решения «удлинение приемо-отправочных путей» для адаптации линии необходимо дополнительно пристроить третий путь, а в вариантах «строительст-

во третьего пути» – увеличить весовую норму за счет удлинения приемо-отправочных путей. Возможно также перераспределение грузопотока по параллельным направлениям или отказ от грузовых перевозок.

В варианте расчетных условий с размерами перевозок 10 п.п./сутки усиление мощности линии не требуется (см. рисунок 5.2). Следовательно, в этих вариантах расчетных условий необходимо в качестве адаптивных мероприятий рассмотреть целесообразность эксплуатации линии без усиления мощности.

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 не имеет смысла. Поэтому адаптация в вариантах внешних расчетных условий с $n_{\text{пс}} = 10$ п.п./сутки для второго и третьего проектных решений по усилению мощности линии предполагает разборку III-го пути и получение возвратных стоимостей по некоторым устройствам (верхнее строение пути, стрелочные переводы и т.д.). Возможен также вариант консервирования III-го пути.

5.2 Формирование матриц частных критериев и риска

В соответствии с п.4 (см. рисунок 4.1), после установления множества расчетных условий и назначения вариантов усиления мощности линии, необходимо сформировать матрицу показателей частных критериев $\mathcal{E}_{\text{чин}}$.

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

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

К единовременным затратам, включенным в показатель критерия, отнесены капиталовложения на реконструкцию дороги ($K_{\text{рек}}$) и приобретение подвижного состава ($K_{\text{пс}}$). Принят электропоезд «Talго 250», оборудованный системой наклона кузова вагонов.

Учтена возвратная стоимость за счет высвобождения используемых пассажирских вагонов и локомотивов ($K_{\text{пс(возв.)}}$). Норма дисконта (E) взята равной 0,1.

Стоимость времени нахождения пассажиров в пути ($C'_{\text{п-ч}}$) определена по формуле (3.17).

В таблице 5.1 приведены результаты расчетов показателей критерия для принятых вариантов переустройства в различных расчетных условиях.

Таблица 5.1 – Матрица показателей частных критериев решений в различных расчетных условиях

Проектные решения i	Расчетные условия n					
	$n_{\text{пс}}=10\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=3,3\text{ у.е.}$	$n_{\text{пс}}=20\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=3,3\text{ у.е.}$	$n_{\text{пс}}=30\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=3,3\text{ у.е.}$	$n_{\text{пс}}=10\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=6,6\text{ у.е.}$	$n_{\text{пс}}=20\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=6,6\text{ у.е.}$	$n_{\text{пс}}=30\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=6,6\text{ у.е.}$
	1	2	3	4	5	6
1. Удл. $I_{\text{по}}$	134,667	174,325	241,476	142,107	189,205	263,796
2. III путь	140,491	190,168	238,749	147,931	205,048	261,069
3. Удл. $I_{\text{по}}$ + III путь	144,687	202,135	237,468	152,127	217,015	259,788

На базе этих данных получена матрица рисков, показывающая дополнительные приведенные затраты (потери) по отношению к наиболее рациональному решению в каждом из расчетных условий (таблица 5.2). В каждом столбце матрицы находят минимальное значение $\min_i \mathcal{E}_{\text{чин}}$ и вычисляют разности по формуле

$$r_{in} = \mathcal{E}_{\text{чин}} - \min_i \mathcal{E}_{\text{чин}}$$

Таблица 5.2 – Матрица рисков (потери)

Проектные решения i	Расчетные условия n					
	$n_{\text{пс}}=10\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=3,3\text{ у.е.}$	$n_{\text{пс}}=20\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=3,3\text{ у.е.}$	$n_{\text{пс}}=30\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=3,3\text{ у.е.}$	$n_{\text{пс}}=10\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=6,6\text{ у.е.}$	$n_{\text{пс}}=20\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=6,6\text{ у.е.}$	$n_{\text{пс}}=30\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=6,6\text{ у.е.}$
	1	2	3	4	5	6
1. Удл. $I_{\text{по}}$	0	0	4,008	0	0	4,008
2. III путь	5,824	15,843	1,281	5,824	15,843	1,281
3. Удл. $I_{\text{по}}$ + III путь	10,020	27,810	0	10,020	27,810	0

Анализ результатов показывает, что 1-й вариант (удл. $I_{\text{по}}$) является лучшим в первом, втором, четвертом и пятом вариантах расчетных условий; 2-й вариант

(III путь) – во всех случаях занимает промежуточное значение; 3-й вариант (удл. $l_{\text{по}} + \text{III путь}$) – лучший в третьем и шестом вариантах расчетных условий.

5.3 Принятие решений в условиях неопределенности с использованием различных общих критериев

После того, как сформирована матрица частных критериев и матрица риска, необходимо принять оптимальное решение с использованием обобщающих (общих) критериев, анализ которых приведен в главе 2. Далее рассмотрено использование классических методов принятия решений и выбор оптимального решения с помощью интегрального вероятностного критерия, предложенного на кафедре изысканий и проектирования ж.д. МИИТ.

5.3.1 Классические критерии принятия решений в условиях неопределенности и риска

Критерий Байеса-Лапласа (BL-критерий)

Применительно к рассматриваемой задаче в принятых в главе 4 и 5 обозначениях оценочная функция (общий критерий) имеет вид

$$Z_{BL} = \min_i \sum_{n=1}^N p_n \cdot \mathcal{E}_{\text{чин}}$$

Если все внешние расчетные условия принятия решений PY_n ($n=1, 2, \dots, N$) равновероятны ($p_1 = p_2 = \dots = p_N = 1/N$), то используется *критерий Лапласа*

$$Z_{BL} = \min_i \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \mathcal{E}_{\text{чин}}$$

Принятие решения по критерию Байеса-Лапласа

Проектные решения i	Расчетные условия n						$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \mathcal{E}_{\text{чин}}$	Рекомендуемое решение
	$n_{\text{пс}}=10\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=3,3\text{у.е.}$	$n_{\text{пс}}=20\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=3,3\text{у.е.}$	$n_{\text{пс}}=30\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=3,3\text{у.е.}$	$n_{\text{пс}}=10\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=6,6\text{у.е.}$	$n_{\text{пс}}=20\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=6,6\text{у.е.}$	$n_{\text{пс}}=30\text{п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=6,6\text{у.е.}$		
	1	2	3	4	5	6		
Удл. $l_{\text{по}}$	134,667	174,325	241,476	142,107	189,205	263,796	381,858	Удл. $l_{\text{по}}$
III путь	140,491	190,168	238,749	147,931	205,048	261,069	394,485	
III путь + Удл. $l_{\text{по}}$	144,687	202,135	237,468	152,127	217,015	259,788	404,406	

Согласно критерию Байеса-Лапласа в качестве оптимального рекомендовано решение – *увеличение полезной длины приемо-отправочных путей* (удл. $l_{\text{по}}$).

Следует отметить, что в состав условий корректного применения данного критерия входит многоразовая реализация задачи, что не соответствует примеру.

Минимаксный критерий (ММ-критерий или критерий Вальда)

Общий критерий имеет в примере следующую оценочную функцию, соответствующую позиции крайнего пессимизма

$$Z_{MM} = \min_i \max_n \mathcal{E}_{chin}$$

Принятие решения по критерию Вальда

Проектные решения i	Расчетные условия n						$\max_n \mathcal{E}_{chin}$	Рекомендуемое решение
	$n_{пс}=10\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=3,3\text{у.е.}$	$n_{пс}=20\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=3,3\text{у.е.}$	$n_{пс}=30\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=3,3\text{у.е.}$	$n_{пс}=10\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=6,6\text{у.е.}$	$n_{пс}=20\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=6,6\text{у.е.}$	$n_{пс}=30\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=6,6\text{у.е.}$		
	1	2	3	4	5	6		
Удл. $l_{по}$	134,667	174,325	241,476	142,107	189,205	263,796	263,796	III путь + удл. $l_{по}$
III путь	140,491	190,168	238,749	147,931	205,048	261,069	261,069	
III путь + Удл. $l_{по}$	144,687	202,135	237,468	152,127	217,015	259,788	259,788	

Таким образом, согласно критерию Вальда, в качестве оптимального будет рекомендовано решение – *строительство третьего пути с удлинением приемо-отправочных путей (III путь+удл. $l_{по}$)*, при использовании которого затраты при любых условиях не превысят 259,788 тыс. у.е.

Критерий Сэвиджа (S-критерий)

Оценочная функция критерия Сэвиджа имеет вид

$$Z_S = \min_i \max_n r_{in}.$$

Условия применения S-критерия:

- о вероятностях внешних состояний F_n ничего не известно;
- решение реализуется малое число раз;
- при небольшом числе реализаций решения допускается некоторый риск.

Принятие решения по критерию Сэвиджа

Проектные решения i	Расчетные условия n						$\max_n r_{i,n}$	Рекомендуемое решение
	$n_{пс}=10\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=3,3\text{у.е.}$	$n_{пс}=20\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=3,3\text{у.е.}$	$n_{пс}=30\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=3,3\text{у.е.}$	$n_{пс}=10\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=6,6\text{у.е.}$	$n_{пс}=20\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=6,6\text{у.е.}$	$n_{пс}=30\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=6,6\text{у.е.}$		
	1	2	3	4	5	6		
Удл. $l_{по}$	0	0	4,008	0	0	4,008	4,008	Удл. $l_{по}$
III путь	5,824	15,843	1,281	5,824	15,843	1,281	15,843	
III путь + Удл. $l_{по}$	10,02	27,81	0	10,02	27,81	0	27,81	

Согласно критерию Сэвиджа в качестве оптимального рекомендуется *удлинение прямо-отправочных путей* (удл. $l_{по}$).

Критерий произведений

Оценочная функция по критерию произведений $Z_P = \min_i \prod_1^N \mathcal{E}_{\text{чин}}$.

Условия применения критерия произведений:

- о вероятностях внешних состояний F_n ничего не известно;
- решение реализуется малое число раз;
- при небольшом числе реализаций решения допускается некоторый риск.

Принятие решений по критерию произведений

Проектные решения i	Расчетные условия n						Z_P	Рекомендуемое решение
	$n_{пс}=10\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=3,3\text{у.е.}$	$n_{пс}=20\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=3,3\text{у.е.}$	$n_{пс}=30\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=3,3\text{у.е.}$	$n_{пс}=10\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=6,6\text{у.е.}$	$n_{пс}=20\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=6,6\text{у.е.}$	$n_{пс}=30\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=6,6\text{у.е.}$		
	1	2	3	4	5	6		
Удл. $l_{по}$	134,667	174,325	241,476	142,107	189,205	263,796	4,02E+13	Удл. $l_{по}$
III путь	140,491	190,168	238,749	147,931	205,048	261,069	5,05E+13	
III путь + Удл. $l_{по}$	144,687	202,135	237,468	152,127	217,015	259,788	5,95E+13	

Согласно критерию произведений в качестве оптимального будет рекомендовано решение по *удлинению прямо-отправочных путей* (Удл. $l_{по}$).

Критерий Ходжа-Лемана (HL-критерий)

Этот критерий основан на BL-критерии и ММ-критерии. С помощью параметра ν выражается степень доверия к использованному распределению вероятностей. При решении задачи учитывается, что степень доверия к позиции крайней осторожности Z_{MM} на процесс принятия решения должна быть не более 0,4.

Оценочная функция определяется равенством

$$Z_{HL} = \min_i \left[\nu \sum_{n=1}^N p_n \cdot \mathcal{E}_{\text{чин}} + (1 - \nu) \max_n \mathcal{E}_{\text{чин}} \right].$$

Критерий Ходжа-Лемана предъявляет к ситуации принятия решения следующие требования:

- вероятности появления состояний F_n неизвестны, но некоторые предположения о распределении вероятностей возможны;

- принятое решение теоретически допускает бесконечно много реализаций;
- при малых числах реализаций допускается некоторый риск.

Критерий Ходжа-Лемана рассмотрен в предположении, что все состояния равновероятны ($p_1 = p_2 = \dots = p_6 = 0,167$ при $\nu = 0,4$).

Принятие решения по критерию Ходжа-Лемана

Проект- ные ре- шения i	Расчетные условия n						Z_{HL}	Реко- менду- емое реше- ние
	$n_{пс}=10$ п.п. $e_{п-ч}=3,3$ у.е.	$n_{пс}=20$ п.п. $e_{п-ч}=3,3$ у.е.	$n_{пс}=30$ п.п. $e_{п-ч}=3,3$ у.е.	$n_{пс}=10$ п.п. $e_{п-ч}=6,6$ у.е.	$n_{пс}=20$ п.п. $e_{п-ч}=6,6$ у.е.	$n_{пс}=30$ п.п. $e_{п-ч}=6,6$ у.е.		
	1	2	3	4	5	6		
Удл. $l_{по}$	134,667	174,325	241,476	142,107	189,205	263,796	220.305	Удл. $l_{по}$
III путь	140,491	190,168	238,749	147,931	205,048	261,069	223.010	
III путь+ удл. $l_{по}$	144,687	202,135	237,468	152,127	217,015	259,788	225.481	

По критерию Ходжа-Лемана при $\nu = 0,4$ оптимальным мероприятием по усилению мощности будет *удлинение приемо-отправочных путей* (Удл. $l_{по}$).

Критерий Гурвица (HW-критерий)

Оценочная функция по критерию Гурвица дает решение, которое находится между позициями крайнего пессимизма и предельного оптимизма.

Весовой множитель λ , показывающий степень пессимизма и принимает значения от 0 до 1.

$$Z_{HW} = \min_i \left[\lambda \max_n \mathcal{E}_{\text{чин}} + (1 - \lambda) \min_n \mathcal{E}_{\text{чин}} \right]$$

Стараясь занять наиболее уравновешенную позицию, лицо, принимающее решение может воспользоваться критерием Гурвица, приняв $\lambda = 0,5$. В результате будет получено средневзвешенное решение между точками зрения предельного оптимиста и крайнего пессимиста. Рекомендуется принимать $\lambda = 0,3$.

Критерий предъявляет к ситуации принятия решений следующие требования:

- о вероятности появления состояний ничего не известно;
- решение реализуется лишь малое количество раз;
- допускается некоторый риск.

Расчет выполнен при $\gamma = 0,3$.

Принятие решения по критерию Гурвица

Проектные решения i	Расчетные условия n						Z_{HL}	Рекомендуемое решение
	$n_{пс}=10 п.п.$ $e_{п-ч}=3,3 у.е.$	$n_{пс}=20 п.п.$ $e_{п-ч}=3,3 у.е.$	$n_{пс}=30 п.п.$ $e_{п-ч}=3,3 у.е.$	$n_{пс}=10 п.п.$ $e_{п-ч}=6,6 у.е.$	$n_{пс}=20 п.п.$ $e_{п-ч}=6,6 у.е.$	$n_{пс}=30 п.п.$ $e_{п-ч}=6,6 у.е.$		
	1	2	3	4	5	6		
Удл. $I_{по}$	134,667	174,325	241,476	142,107	189,205	263,796	173,405	Удл. $I_{по}$
III путь	140,491	190,168	238,749	147,931	205,048	261,069	176,665	
III путь+ удл. $I_{по}$	144,687	202,135	237,468	152,127	217,015	259,788	179,169	

В соответствии с критерием Гурвица надо рекомендовать усилить мощность линии за счет удлинения *приемо-отправочных путей* (Удл. $I_{по}$).

Критерий Гермейера (G-критерий)

Оценочная функция по критерию Гермейера $Z_G = \min_i \max_n p_n \cdot \mathcal{E}'_{чин}$,

где p_n - вероятности внешних состояний F_n , ($n=1, 2, \dots, N$), $\sum_{n=1}^N p_n = 1$.

G-критерий некоторым образом обобщает ММ-критерий, а в случае равномерного распределения p_n ($p_n=1/N$, $n=\overline{1, N}$) они становятся идентичными.

Условия применимости G-критерия таковы:

- вероятности появления состояний F_n известны;
- допускается некоторый риск;
- решение может реализовываться как малое, так и большое число раз.

Если функция распределения известна с малой надежностью и числа реализаций малы, то при использовании G-критерия, вообще говоря, имеется неоправданно большой риск.

Поскольку вероятности внешних состояний системы неизвестны, то предположим, что они равновероятны ($p_1=p_2=p_3=p_4=p_5=p_6=1/6$).

Необходимо сформировать матрицу остатков, в которой все элементы были бы отрицательными. Для этого из всех элементов матрицы частных критериев необходимо вычесть число несколько большее, чем её максимальный элемент.

В примере из всех элементов вычтено 264,796.

Принятие решений по критерию Гермейера по матрице остатков

Проектные решения i	Расчетные условия n						Z_{HL}	Рекомендуемое решение
	$n_{пс}=10\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=3,3\text{у.е.}$	$n_{пс}=20\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=3,3\text{у.е.}$	$n_{пс}=30\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=3,3\text{у.е.}$	$n_{пс}=10\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=6,6\text{у.е.}$	$n_{пс}=20\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=6,6\text{у.е.}$	$n_{пс}=30\text{п.п.}$ $e_{п-ч}=6,6\text{у.е.}$		
	1	2	3	4	5	6		
Удл. $I_{по}$	-130,129	-90,471	-23,320	-122,689	-75,591	-1	-74,014	Удл. $I_{по}$
III путь	-124,305	-74,628	-26,047	-116,865	-59,748	-3,727	-67,688	
III путь+ удл. $I_{по}$	-120,109	-2,661	-27,328	-112,669	-47,781	-5,008	-52,698	

Согласно критерию Гермейера в качестве оптимального будет рекомендовано решение удлинить приемо-отправочные пути (Удл. $I_{по}$).

Таким образом, по критериям Байеса-Лапласа, Сэвиджа, произведений, Ходжа-Лемана, Гурвица и Гермейера в качестве оптимального решения следует рекомендовать при реконструкции железной дороги под скоростное движение пассажирских поездов усилить её мощность за счет удлинения приемо-отправочных путей, что позволяет увеличить весовую норму и уменьшить потребное количество грузовых поездов.

По критерию Вальда в качестве оптимального решения надо рекомендовать *строительство третьего главного пути с удлинением приемо-отправочных путей*. При этом возрастет возможная пропускная способность линии и сократится потребное число грузовых поездов.

5.3.2 Определение интегрального вероятностного критерия

Для выбора оптимального решения с использованием интегрального вероятностного критерия (ИВК) в условиях неопределенности была сформирована матрица экономического риска (п.5.2, табл. 5.2).

В соответствии алгоритмом (блок 2, см. рисунок 4.2) определены угловые коэффициенты k_i и начальные ординаты b_i для всех принятых РУ. Значения приведены в таблицах 5.3 и 5.4.

Таблица 5.3 – Значения угловых коэффициентов k_i

Проектные решения i	Расчетные условия n					
	$n=10$ п.п./сут.		$n=20$ п.п./сут.		$n=30$ п.п./сут.	
	$e_{\text{пасс-ч}}=3,3\text{у.е.}$	$e_{\text{пасс-ч}}=6,6\text{у.е.}$	$e_{\text{пасс-ч}}=3,3\text{у.е.}$	$e_{\text{пасс-ч}}=6,6\text{у.е.}$	$e_{\text{пасс-ч}}=3,3\text{у.е.}$	$e_{\text{пасс-ч}}=6,6\text{у.е.}$
	1	2	3	4	5	6
Удл. $l_{\text{по}}$	-1,603	-1,603	3,206	-1,603	-1,603	3,206
III путь	-2,190	9,832	-7,642	-2,190	9,832	-7,642
III путь + удл. $l_{\text{по}}$	-3,108	18,240	-15,132	-3,108	18,240	-15,132

Таблица 5.4 – Значения начальной ординаты b_i

Проектные решения i	Расчетные условия n					
	$n=10$ п.п./сут.		$n=20$ п.п./сут.		$n=30$ п.п./сут.	
	$e_{\text{пасс-ч}}=3,3\text{у.е.}$	$e_{\text{пасс-ч}}=6,6\text{у.е.}$	$e_{\text{пасс-ч}}=3,3\text{у.е.}$	$e_{\text{пасс-ч}}=6,6\text{у.е.}$	$e_{\text{пасс-ч}}=3,3\text{у.е.}$	$e_{\text{пасс-ч}}=6,6\text{у.е.}$
	1	2	3	4	5	6
Удл. $l_{\text{по}}$	1,603	1,603	0,802	1,603	1,603	0,802
III путь	8,014	6,011	8,923	8,014	6,011	8,923
III путь + удл. $l_{\text{по}}$	13,128	9,570	15,132	13,128	9,570	15,132

На следующем этапе (блоки 3 и 4, см. рис. 4.2) сделан анализ коэффициентов и значений общего критерия при $p_n=0$ и $p_n=1$. Установлено, что в расчетных условиях №1, №2, №4 и №5 во всем диапазоне изменения вероятности от 0 до 1 оптимален вариант усиления линии за счет увеличения весовой нормы грузового поезда (удл. $l_{\text{по}}$).

Координаты точек пересечения графиков $M_{in}(p_n)$ для оставшихся расчетных условий №3 и №6 (блок 5, см. рисунок 4.2) определены с использованием способа Крамера.

Результаты расчета координат точек пересечения приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Координаты точек пересечения зависимостей $M_{in}(p_n)$

Проектные решения i	III путь	Удлинение $l_{\text{по}}$	III путь + Удлинение $l_{\text{по}}$
Расчетное условие № 1			
Удлинение $l_{\text{по}}$	Удлинение $l_{\text{по}}$ оптимально при $p_n=0..1$		
III путь			
III путь + Удлинение $l_{\text{по}}$			
Расчетное условие № 2			
Удлинение $l_{\text{по}}$	Удлинение $l_{\text{по}}$ оптимально при $p_n=0..1$		
III путь			
III путь + Удлинение $l_{\text{по}}$			
Расчетное условие № 3			
Удлинение $l_{\text{по}}$	(0,75; 3,20)	-	-
III путь	-	-	(0,83; 2,59)
III путь + Удлинение $l_{\text{по}}$	(0,78; 3,31)	-	-

Проектные решения i	III путь	Удлинение $l_{\text{по}}$	III путь + Удлинение $l_{\text{по}}$
Расчетное условие № 4			
Удлинение $l_{\text{по}}$	Удлинение $l_{\text{по}}$ оптимально при $p_n=0..1$		
III путь			
III путь + Удлинение $l_{\text{по}}$			
Расчетное условие № 5			
Удлинение $l_{\text{по}}$	Удлинение $l_{\text{по}}$ оптимально при $p_n=0..1$		
III путь			
III путь + Удлинение $l_{\text{по}}$			
Расчетное условие № 6			
Удлинение $l_{\text{по}}$	(0,75; 3,20)	-	-
III путь	-	-	(0,83; 2,59)
III путь + Удлинение $l_{\text{по}}$	(0,78; 3,31)	-	-

В таблице 5.6 показаны интервалы вероятности оптимальных решений для всех вариантов расчетных условий (блок 6, см. рисунок 4.2).

Таблица 5.6 – Интервалы вероятности оптимальных решений

Проектные решения i	Расчетные условия n					
	1	2	3	4	5	6
Удлинение $l_{по}$	0...1,00	0...1,00	0...0,75	0...1,00	0...1,00	0...0,75
III путь	-	-	0,75...0,83	-	-	0,75...0,83
III путь с удлинением $l_{по}$	-	-	0,83...1,00	-	-	0,83...1,00

На заключительном этапе (блок 7, см. рисунок 4.2) для окончательного определения оптимального решения выполнен расчет показателей интегрального вероятностного критерия для каждого из вариантов намеченных технических параметров реконструкции с целью усиления мощности линии (таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Расчет интегрального вероятностного критерия

Проектные решения i	Расчетные условия n						
	1	2	3	4	5	6	α
Удлинение $l_{по}$	1,0	1,0	0,75	1,0	1,0	0,75	0,91
III путь	0	0	0,08	0	0	0,08	0,03
III путь с удлинением $l_{по}$	0	0	0,17	0	0	0,17	0,06

Интегральный вероятностный критерий определяется по формуле (4.7). Значение ИВК дает представление о вероятности, при которой данное решение будет оптимальным. Соответственно, чем больше значение ИВК для данного решения, тем более вероятно, что это решение будет оптимальным.

На рисунке 5.6 интервалы вероятностей при всех рассматриваемых расчетных условиях приведены в виде гистограммы.

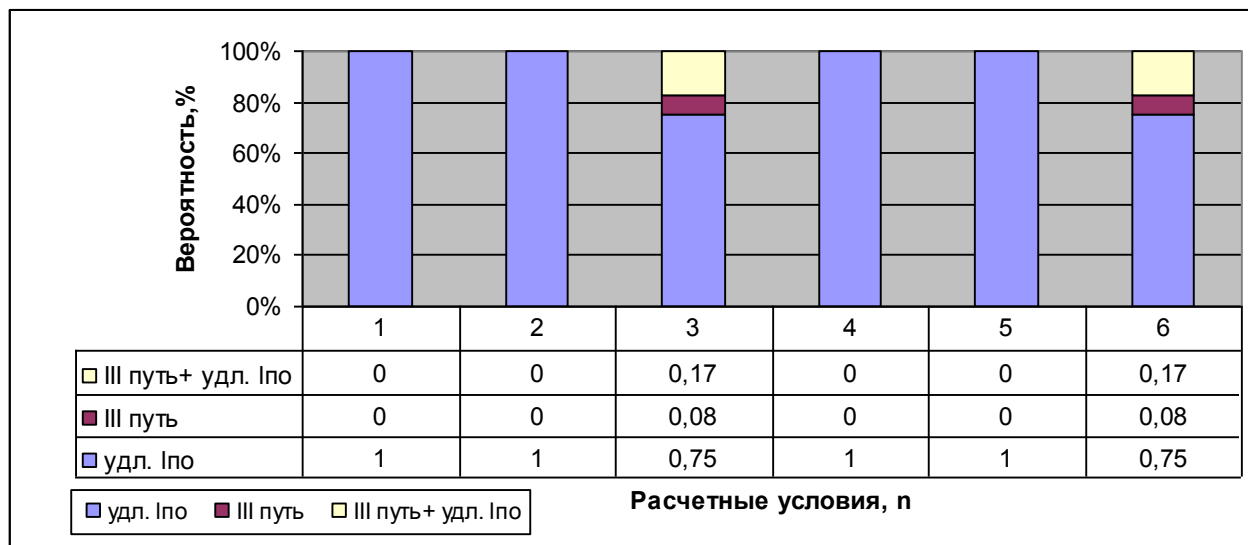


Рисунок 5.6 – Графическое представление интервалов вероятностей оптимальных решений

На рисунке 5.7 дано графическое представление ИВК. 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 очевидно.

Значение вероятностей остальных решений зоны неопределенности составляют 3% и 6% для решений ІІІ путь и ІІІ путь с удлинением приемо-отправочных путей соответственно. Следовательно, ЛПР может с большей уверенностью принять решение о 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 неопределенности производится аналогично. Различны лишь подходы к формированию векторов граничных вероятностей.

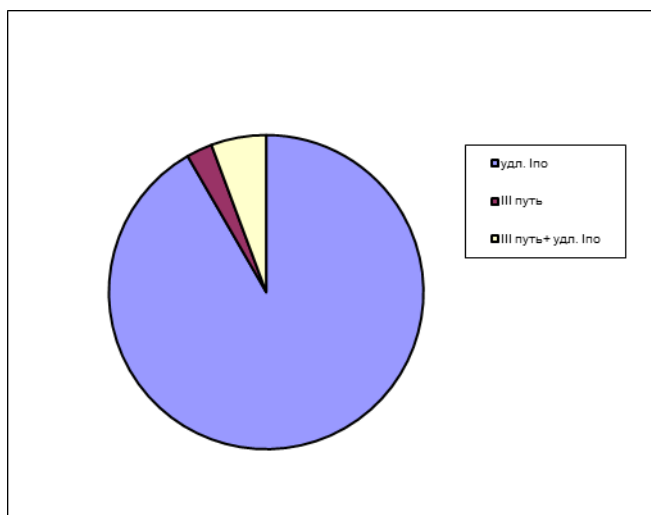


Рисунок 5.7 – Графическое представление ИБК

Полученные результаты расчетов дают основание для принятия в качестве оптимального решения – удлинение $l_{по}$.

5.4 Выводы по главе 5

Рассмотрен пример использования методики обоснования технических параметров реконструкции линии для перехода к скоростному движению пассажирских поездов при смешанных грузовых и пассажирских перевозках с учетом неопределенности исходной информации. Для примера взят участок железнодорожной линии, расположенный во втором транспортном коридоре, проходящем по территории Республики Беларусь.

В качестве факторов неопределенности внешних условий приняты размеры пассажирских перевозок и величина стоимости пассажиро-часа.

В результате анализа наличной и потребной провозных способностей назначены три варианта увеличения мощности дороги после ввода скоростного движения пассажирских поездов:

- удлинения приемо-отправочных путей для увеличения весовой нормы грузовых поездов и сокращения их потребного количества;
- строительство III главного пути с переносом на него части грузового движения;
- оба мероприятия совместно.

По предложенной методике определены приведенные затраты для вариантов проектных решений при всех возможных расчетных условиях. С использованием этих затрат сформированы матрица частных критериев и матрица рисков.

Выполнено сравнение вариантов проектных решений по классическим критериям и интегральному вероятностному критерию.

При использовании классических критериев имеющих в своей основе элемент субъективизма, получены противоречивые результаты.

При интегральном вероятностном критерии рекомендация однозначна и сопровождается количественной оценкой, что облегчает задачу ЛПР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современных условиях в практике проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог большое внимание уделяется скоростному движению пассажирских поездов. При этом для скоростного пассажирского движения реконструируют существующие железнодорожные магистрали со смешанным грузовым и пассажирским движением.

Реконструкции железных дорог при увеличении скоростей движения вызвана необходимостью усиления мощности линии из-за увеличения съема грузовых поездов скоростными пассажирскими, повышенными требованиями к плану линии, а также мероприятиями по обеспечению безопасности и бесперебойности движения поездов. Кроме того, должны быть модернизированы устройства СЦБ и связи, усилена контактная сеть и тяговые подстанции, а также приняты меры по защите окружающей среды.

Для сокращения объемов работ по переустройству плана линии при увеличении скоростей движения используют вагоны с наклоном кузова, нормативные требования для которых недостаточно разработаны. Таким образом, тему диссертационного исследования следует считать актуальной.

Исходная информация для разработки проектов железных дорог многозначна и трудоемка в получении, размеры перевозок охватывают период эксплуатации в динамике времени на 15 – 20 лет вперед. Поэтому принятие проектного решения по строительству и реконструкции железных дорог относится к классу недетерминированных задач в условиях неопределенности.

В диссертации разработана и апробирована методика обоснования технических параметров реконструкции железной дороги для скоростного движения пассажирских поездов с учетом недостоверности исходной информации.

Автором диссертации изучен исторический опыт и выполнен анализ развития скоростного движения в различных странах мира.

Получены аналитические зависимости для определения радиусов кривых в условиях смешанного грузового и пассажирского движения при подвижном составе с наклоном кузова, предложен 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.

Выполнен анализ существующих способов определения стоимости пассажира-часа и предложены две новых методики расчета – на основании сравнения скоростных и пассажирских поездов, курсирующих на реконструируемом направлении, и с использованием проектных данных (величина капвложений, эксплуатационных расходов и сокращение времени нахождения пассажиров в пути).

Выполнена адаптация и развитие методики выбора решений в проектах железных дорог с учетом 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 в различных расчетных условиях.

Проведенные экспериментальные расчеты и их анализ позволяет считать предлагаемые методики определения радиусов, стоимости пассажира-часа и другие результаты исследования достоверными.

Предложенная в исследовании методика определения радиусов для вагонов с наклоном кузова, а также способы расчета стоимости пассажира-часа являются новыми и предложены впервые.

Полученные результаты в связи с их актуальностью могут быть использованы при разработке нормативных документов, а также специальных технических условий при разработке скоростных железнодорожных магистралей.

С использованием материалов диссертации разработаны методические указания для курсового и дипломного проектирования по транспортным специальностям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Ахраменко, Г. В. Проектирование реконструкции плана железных дорог : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию / Г. В. Ахраменко. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 34 с.
- 2.Ахраменко, Г. В. Введение скоростных пассажирских поездов на основных направлениях Белорусской железной дороги «Пути технического перевооружения и модернизации железнодорожного транспорта: Тез. докл. 4 научно-техническая конференция кафедр БелГУТа и Дор НТО Белорусской ж.д. / БелГУТ. – 1989. – с.40 – 41.
- 3.Бещева, Н. И. Местное пассажирское движение на электрифицированных линиях/ Н. И. Бещева // Тр. ЦНИИ МПС. – Вып. 300. – М.: «Транспорт», 1965. – с. 51-60.
- 4.Веденисов, Б. Н. О переходных кривых при больших скоростях движения /Б. Н. Веденисов. – Тр. МИИТа. – Вып. 47. – М.: Трансжелдориздат, 1936. – 56 с.
- 5.Вербило, В. А. Проектирование новых и реконструкция существующих железных и автомобильных дорог: учеб. – метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию/ В. А. Вербило, Н. В. Довгелюк. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 23с.
- 6.Вербило, В. А. Проектирование продольного профиля при реконструкции железных дорог: учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Гомель: БелГУТ, 2008. – 20 с.
- 7.Воздействие на путь вагонов электропоезда "Аллегро" (Pendolino SM6), оборудованных системой активного принудительного наклона кузова в кривых / А. М. Бржезовский [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – № 5. – С. 16-23.
- 8.Волков, Б. А. Экономические изыскания и основы проектирования железных дорог: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / Б. А. Волков, И. В. Турбин, Е. С. Свинцов, Н. С. Лобанова; Под ред. Б. А. Волкова. – М.: Маршрут, 2005. – 408 с.

9.Высокоскоростные железнодорожные сообщения – достижения и проблемы // Железные дороги мира. – 2001. – №2. – С. 5 – 9.

10. Гавриленков, А. В. Изыскания и проектирование железных дорог / А. В. Гавриленков, Г. С. Переселенков – М.: Транспорт, 1998. – 56.

11. Гибшман, А. Е. Определение экономической эффективности проектных решений на железнодорожном транспорте / А. Е. Гибшман. – М.: Транспорт, 1976. – 222 с.

12. ГОСТ 9238 – 83 Габариты приближения строений и подвижного состава железных дорог колеи 1520 (1524) мм. М : Транспорт, 1988. – 43 с.

13. Государственная программа развития железнодорожного транспорта республики Беларусь на 2011 – 2015 годы: [постановление Сов. Министров РБ от 20.12.2010, № 1851], 2010. – 60 с.

14. Грицык, В. И. Дефекты рельсов железнодорожного пути: учеб. иллюстр. Пособие / В. И. Грицык. – М. : УМЦ МПС России, 2005. – 80 с.

15. Довгелюк, Н. В. Изыскания и проектирование железных дорог: учебное пособие для учреждения высшего образования / Н. В. Довгелюк, Г. В. Ахраменко, И. М. Царенкова. – Минск : М-во образования Республики Беларусь, 2013. – 334с.

16. Довгелюк, Н. В. Скоростные железнодорожные магистрали: учебн.-метод. пособие / Н. В. Довгелюк, Т. А. Руденко. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 43 с.

17. Ершков, О. П. Необходимое соотношение скоростей движения грузовых и пассажирских поездов / О. П. Ершков // Железнодорожный транспорт, 1959. – №12. – С. 53 – 55.

18. Ершков, О. П. Теоретические и экспериментальные исследования особенностей движения экипажей со скоростями до 200 км/ч и требования к содержанию пути / О. П. Ершков, В. Я. Карцев // Железные дороги мира. 1980. – №1. – С. 3 – 13.

19. Железные дороги мира. – 2010. – № 5. – 76 с.

20. Золотарский, А. Ф. Железнодорожный путь и подвижной состав для высоких скоростей движения / А. Ф. Золотарский, С. В. Вершинский, О. П. Ершков и др.; Под ред. М. А. Чернышова. – М.: Транспорт, 1964. – 272 с.
21. Изыскания и проектирование железных дорог: учебник для вузов / И. В. Турбин, А. В. Гавриленков, И. И. Кантор и др.; под ред. И. В. Турбина. – М.: Транспорт, 1989.
22. Ильин, Д. В. Расчет длин переходных кривых на участках обращения пассажирских поездов с полуактивной системой принудительного наклона кузова / Д. В. Ильин // Вестник ВНИИЖТ. – 2003. – №6. – С. 27-29.
23. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог № 128. – М.: ОАО «РЖД», 2010. – 124 с.
24. Инструкция по техническому обслуживанию и эксплуатации сооружений, устройств, подвижного состава и организации движения на участках обращения скоростных пассажирских поездов (ЦРБ-393). – М.: МПС РФ, 1996. – 56 с.
25. Инфраструктура линии Санкт-Петербург – Москва для высокоскоростного движения поездов. Общие технические требования. СТО РЖД 1.07.001-2007. – М. : ОАО «РЖД», 2007. – 52 с.
26. Иоаннисян, А. И. Улучшение трассы существующих железных дорог / А. И. Иоаннисян. – М.: Транспорт, 1972. – 176 с.
27. Каменский, В. Б. Содержание железнодорожного пути в кривых / В. Б. Каменский, Э. Я. Шац. – М.: Транспорт, 1987. – 189 с.
28. Кантор, И.И. Изыскания и проектирование железных дорог / И. И. Кантор. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2003. – 288 с.
29. Кантор, И. И., Высокоскоростная магистраль Центр – Юг / И. И. Кантор, В. М. Резник // Транспортное строительство. – 1988. – № 10. – с. 17 – 18.
30. Кантор, И. И. Высокоскоростные железнодорожные магистрали: трасса, подвижной состав, магнитный подвес / И. И. Кантор. – М. : Маршрут, 2004. – 51 с.

31. Карпущенко, Н. И. Параметры колеи и износ рельсов / Н. И. Карпущенко, И. А. Осташко // Путь и путевое хозяйство. – 1996.- №81. – С. 6 – 7.
32. Киселёв, И. П. Развитие высокоскоростного железнодорожного движения в России и СССР (середина XIX – XX век) : автореф. дис. ... докт. истор. наук : 07.00.10 / Киселёв Игорь Павлович. – С.-Пб., 2011. – 44 с.
33. Козлов, В. Ю. План трассы и новый тип подвижного состава для высоких скоростей движения / В. Ю. Козлов // Сб. научн. трудов МИИТа. – 1976. – Вып. 538. – С. 80 – 86.
34. Колодяжный, Н.В. Высокоскоростное пассажирское движение на железных дорогах / Н.В. Колодяжный. – М.: Транспорт, 1976. – 416 с.
35. Копыленко, В. А. Техничко-экономическая модель задачи оптимального переустройства эксплуатируемой линии для повышения скорости поездов / В. А. Копыленко // Сб. научн. Тр. МИИТа. – 1986. – Вып. 771. – С. 50 – 66.
36. Корженевич, И. П. Изменение возвышения наружного рельса вдоль кривой / И. П. Корженевич, С. А. Лыкова, А. А. Мамитко, // Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта, 2010, №34. – С. 81 – 87.
37. Корженевич, И. П. Оценка основных параметров железнодорожных кривых при установлении их максимальных скоростей / И. П. Корженевич, Д. Н. Курган, Н. Б. Курган, Н. Г. Ренгач // Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта, С. Научных трудов «Строительство» 2002, №10. – С. 28 – 34.
38. Кочнев, П. Ф. Комплексное повышение скоростей движения поездов / П. Ф. Кочнев. – М. : Транспорт, 1989. – 176 с.
39. Кочнев, П. Ф. Оптимальные параметры пригородных пассажирских перевозок / П. Ф. Кочнев. – М.: Транспорт, 1975. – 304 с.
40. Кочнев, Ф. П. Повышение скорости движения пассажирских поездов / Ф.П. Кочнев. – М : Транспорт, 1970. – 272 с.
41. Марков, Ю. Н. Возвышение и износ рельсов / Ю. Н. Марков// Путь и путевое хозяйство. – 2000. – №1. – С. 31 – 32.

42. Масьянова, И. Т. Зарубежный опыт повышения скоростей пассажирских поездов на примере Японии / И. Т. Масьянова // «Технические науки – от теории к практике»: материалы XVII международной заочной научно-практической конференции. Часть I. Новосибирск: «СибАК», 2013. – с. 138 – 140.

43. Матвеев, В. И. Анализ надежности работы железнодорожного пути : учеб.-метод. пособие / В. И. Матвеев, А. А. Кебилов, Н. Е. Мирошников. - Гомель : БелГУТ, 2013. – 56 с.

44. Мелентьев, Л. П. Взаимодействие колес с рельсами и их износ / Л. П. Мелентьев // Путь и путевое хозяйство. – 1999. - №5. – С. 6 – 13.

45. Менар, Клод Экономика организаций / Клод Менар. – М. Инфра-М, 2006 г.

46. Методика определения возвышения наружного рельса в кривых участках пути // Путь и путевое хоз-во. 1997. – № 6. – С. 16 – 19.

47. Миронов, В. С. Вопросы проектирования высокоскоростных линий : дис. ... канд. техн. наук 05.22.06 / Миронов Виктор Степанович. – М., 1972 г. – 209 с.

48. Миронов, В. С. Оценка вариантов проектных решений при выборе начальных технических параметров линии в условиях неопределенности / В. С. Миронов // Тр. МИИТа. 1982. – № 715. – С. 107 – 111.

49. Миронов, В. С. Поддержка принятия решений по выбору технических параметров железных дорог в условиях неопределенности / В. С. Миронов, К. Ю. Ворончихин // Межвузовский сб. научн. тр. «Актуальные проблемы развития сети железных дорог региона»–Хабаровск: ДВГУПС.–2004. С. 38 – 50

50. Миронов, В. С. Параметры плана скоростной железной дороги с использованием пассажирских вагонов с наклоном кузова / В. С. Миронов, Т. А. Руденко // Тезисы докладов научн.-метод. конф. «Путь XXI века». – С-Пб. : ПГУПС, 2013. – С. 35 – 36.

51. Миронов, В. С. Анализ эффективности скоростного движения пассажирских поездов в Республике Беларусь / В. С. Миронов, Т. А. Руденко // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного ком-

плекса: материалы III междунар. научн.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2013. – С. 300 – 302.

52. Миронов, В. С. Оценка вариантов проектных решений при выборе начальных технических параметров линии в условиях неопределенности / В. С. Миронов // межвуз. сб. научн. трудов «Технико-экономическая эффективность проектных решений железных дорог». – М. 1982. – № 715. – С. 107 – 111.

53. Миронов, В. С. Поддержка принятия решения по выбору технических параметров железных дорог в условиях неопределенности / В. С. Миронов, К. Ю. Ворончихин // межвуз. сб. научн. трудов «Актуальные проблемы развития сети железных дорог региона» – Хабаровск : ДВГУПС. – 2004, с.75-86.

54. Миронов, В. С. Технико-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.

55. 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.

56. Певзнер В. О. Состояние железнодорожного пути и установление скоростей движения: дис. ... докт. техн. наук 05.22.06 / Певзнер Виктор Ошерович. – М., 1991 г. – 331 с.

57. Переселенков, Г. С. Высокоскоростные железные дороги и надежность пассажирских перевозок / Г. С. Переселенков // Сб. : Развитие системы пассажирских сообщений. – М. : Наука, 1984. – С. 135 – 148.

58. Расчет допускаемых скоростей движения поездов по данным о фактическом состоянии пути : учеб. пособие / Н. И. Карпущенко [и др.] ; под ред. Н. И. Карпущенко. – Новосибирск : СибГУПС, 2006. – 74 с.

59. Руденко, Т. А. Реконструкция плана железных дорог : пособ. по курс. и дипл. проектир. / Т. А. Руденко, В. С. Миронов. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 25 с.

60. 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.

61. Руденко, Т. А. Оценка эффективности внедрения скоростного движения в Республике Беларусь / Т. А Руденко // Неделя науки-2013 «Наука МИИТа – транспорту»: тр. научно-практ. конф. – М.: МИИТ, 2013. – С. II-14 – II-15.

62. Руденко, Т. А. Перспективы развития скоростного движения поездов в Республике Беларусь / Т. А Руденко // Неделя науки-2011 «Наука МИИТа – транспорту»: тр. научно-практ. конф. – М.: МИИТ, 2011. – С. II-47 – II-48.

63. Руденко, Т. А. Применение экипажей с наклоном кузова для скоростного движения / Т. А Руденко // Железнодорожный транспорт: современные проблемы науки: сборник тезисов XLI научн.-практ. конф. Молодых ученых, аспирантов и студентов – Киев : ДЕТУТ, 2012. – Ч. 1. – С. 76 – 78.

64. Руденко, Т. А. Аспекты безопасности при вписывании подвижного состава с наклоном кузова в габаритные ограничения в пределах кривых / Т. А Руденко, С. В. Калягин // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології: матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції – Київ : ДЕТУТ, 2013. – Серія «Техніка, технології» – С. 128 – 129.

65. Свинцов, Е. С. Методика оценки экономической эффективности проектных решений / Е. С. Свинцов, А. В. Романов, Е. Г. Алексеева // Сб. докладов 58-й научно-технической конференции – СПб. : ПГУПС, 1998. – С. 21-22.

66. Свинцов, Е. С. Оптимизация технического состояния в полигоне параллельных ходов на примере скоростного направления Санкт-Петербург - Выборг – Бусловская / Е. С. Свинцов, А. В. Романов, А. П. Конюхов // В сб. трудов «Актуальные проблемы развития сети железных дорог региона» – Хабаровск: ДВГУПС. – 2004. – С. 22-24.

67. Свинцов, Е. С. Определение параметров специальных высокоскоростных линий/ Е. С. Свинцов, А. В. Федоров // Тр. МИИТ. – М. –1979. – № 644. – С. 42-45.
68. Система наклона кузовов вагонов поезда Talgo Pendular // Железные дороги мира. – 2005. – №4. – С. 39 – 41.
69. Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт. В прошлом, настоящем и будущем. Т. 1 / В. И. Ковалев [и др.] ; под ред. В. И. Ковалева. – СПб. : Питер, 2001. – 320 с.
70. Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт. Т. 2 / В. И. Ковалев [и др.] ; под ред. В. И. Ковалева. – СПб. : Питер, 2003. – 448 с.
71. Совершенствование методов определения эффективности капитальных вложений на транспорте / Под ред. В. Н. Лившица. – М.: Транспорт, 1978. – 264 с.
72. Специальные технические условия для проектирования, строительства и эксплуатации высокоскоростной пассажирской железнодорожной магистрали «Москва – Санкт-Петербург» . – М. : ОАО «РЖД», 2009. – 52 с.
73. СТН Ц-01-95. Строительно-технические нормы МПС РФ. Железные дороги колеи 1520 мм. – М. : МПС России, 1995. – 86 с.
74. Терёшина, Н. П. Экономика железнодорожного транспорта / Н. П. Терёшина, В. Г. Галабурда, М. Ф. Трихунков. – М. : УМЦ ЖДТ, 2006. – 150 с.
75. Черномордик, Г. И. Повышение скоростей движения поездов / Г. И. Черномордик. – М. : Транспорт, 1964. – 202 с.
76. Шахунянц, Г. М. Железнодорожный путь / Г. М. Шахунянц. – М. : Транспорт, 1969. – 536 с.
77. Шахунянц, Г. М. Особенности устройства железнодорожного пути при существующих скоростях и сверхскоростном транспорте / Г. М. Шахунянц // Труды МИИТа. – М.: Трансжелдориздат, 1936. – Вып. 47. – 56 с.
78. Шварцфельд, В. С. Теория и практика проектирования развития региональной сети железных дорог на основе геоинформационных технологий :

дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.06 / Шварцфельд Вячеслав Семенович. – Хабаровск, 2001. – 400 с.

79. Шкурников, С. В. Повышение скоростей движения поездов на основе модернизации постоянных устройств однопутных железных дорог : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.03 / Шкурников Сергей Васильевич. – Л., 1990. – 26 с.

80. Яковлева, Т. Г. Железнодорожный путь / Т.Г. Яковлева, Н. И. Карпушенко, С. И. Клинов, Н. Н. Путря, М. П. Смирнов. – М. : Транспорт, 1999. – 405 с.