

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ БЕЛОРУССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА**

**Кафедра « Проектирование, строительство и эксплуатация
транспортных объектов»**

М.А.МАСЛОВСКАЯ, Н.В.ДОВГЕЛЮК

**ОСОБЕННОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ
ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГЕ**

Гомель.2018

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ БЕЛОРУССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА

Кафедра «Проектирование, строительство и эксплуатация
транспортных объектов»

М.А.МАСЛОВСКАЯ, Н.В.ДОВГЕЛЮК

ОСОБЕННОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ
ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГЕ

Одобрено методической комиссией строительного факультета в
качестве учебно-методического пособия по курсовому и дипломному
проектированию

Гомель.2018

УДК 625.8(075.8)
ББК
М

Р е ц е н з е н т – Заведующий кафедрой «Транспортные узлы»
УО «Белорусский государственный университет транспорта»,
д.т.н., профессор А.К.Головнич

Масловская М.А.

Особенности реконструкции железных дорог при электрической тяге :
учеб.-метод. Пособие по курсовому и дипломному проектированию /
М.А.Масловская, Н.В.Довгелюк; М-во трансп. и коммуникаций Респ.
Беларусь, Беларус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 85 с.

ISBN 978-554-595-9 .

Изложен зарубежный и отечественный опыт электрификации железных дорог, задачи проектирования реконструкции дорог, особенности электрификации Белорусской железной дороги Приведены: габарит, опоры контактной сети. контактная сеть, основы расчета устройств энергоснабжения. Определен оптимальный срок электрификации по различным методикам.

УДК 625.8 (075.8)
ББК

ISBN 978-985/554-595/9

Масловская М.А., Довгелюк Н.В., 2018
Оформление УО «БелГУТ», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Реконструкция и развитие железных дорог	4
1.1 Задачи проектирования железных дорог	4
1.2 Электрификация – одно из основных реконструктивных мероприятий железной дороги	5
2 Анализ электрификации железных дорог мира	8
2.1 Электрификация железных дорог за рубежом	8
2.2 Электрификация железных дорог в России	12
2.3 Особенности электрификации Белорусской железной дороги	17
2.4 Электрификация и скоростное движение поездов	25
3 Система электроснабжения электрифицированных железных дорог	34
3.1 Внешнее и тяговое электроснабжение	34
3.2 Основы проектирования системы энергоснабжения	36
3.3 Конструкция контактной сети	39
3.4 Железобетонные стойки для опор контактной сети	43
3.5 Монтаж цепной подвески	49
4 Особенности выбора вида тяги	52
4.1 Определение срока электрификации по графику овладения перспективными перевозками	52
4.2 Электрификация участка Жлобин – Калинковичи Белорусской железной дороги	55
4.3 Методика выбора оптимальной схемы электрификации в сочетании с выбором срока строительства второго пути	60
Список использованных источников	64

ВВЕДЕНИЕ

Все виды транспорта образуют единую транспортную систему. Транспорт обеспечивает связь между промышленностью, сельским хозяйством и другими отраслями народного хозяйства, влияет на процессы развития экономики страны, на размещение производительных сил, способствует повышению жизненного уровня населения.

Железные дороги являются важным элементом единой транспортной системы страны. Они выполняют большой объем перевозочной работы, обеспечивая надежные и экономичные транспортные связи между регионами страны.

Современные железные дороги представляют собой сложные инженерные сооружения, обеспечивающие движение поездов большого веса с высокими скоростями в любое время года при любых погодных условиях. Эти особенности работы должны учитываться проектировщиками, строителями, эксплуатационниками.

Железные дороги играют большую роль как в социально-экономическом развитии отдельных регионов, так и страны в целом. Современные железные дороги представляют собой сложные инженерные сооружения, которые обеспечивают безопасное движение поездов с большими скоростями. Многие дороги были построены еще в XIX и XX веках, поэтому отдельные их участки не удовлетворяют требованиям современного интенсивного движения. Постепенное переустройство железных дорог с максимальным использованием земляного полотна, раздельных пунктов, мостовых переходов, на постройку которых были израсходованы большие средства, является необходимым требованием времени.

Железнодорожный транспорт Беларуси начал своё развитие в 1870–1880-е годы. 9 ноября 1871 года была построена главная дорога Беларуси Брест – Минск – Смоленск, связавшая неразрывными нитями братские народы Беларуси и России. Развитие народного хозяйства, необходимость в перевозках грузов и пассажиров потребовали наращивания производственно-технического потенциала и модернизации технических устройств дороги. Возрастающие объёмы перевозок требуют коренной реконструкции локомотивного и вагонного хозяйства. Большая работа проведена по ремонту и содержанию железнодорожных путей, стрелочных переводов, мостов и труб, переездов и путепроводов. Содержание в постоянном исправном состоянии требует значительных капиталовложений.

Большинство промышленно-развитых стран отдают предпочтение в перевозочном процессе электрической тяге. В Западной Европе причиной электрификации железных дорог стало развитие скоростного и высокоскоростного движения пассажирских поездов. Анализ

электрификации железных дорог позволил выявить явные преимущества электрической тяги: меньшая себестоимость перевозок, экономия топливно-энергетических ресурсов, меньшее воздействие на окружающую среду.

В пособии приводится зарубежный и отечественный опыт электрификации железных дорог, обосновывается электрификация Белорусской железной дороги, как одного из важнейших реконструктивных мероприятий, показывается зависимость пассажирского движения поездов от электрификации железной дороги, приводится краткая характеристика устройств энергоснабжения и различные методики выбора вида тяги с примерами.

1 РЕКОНСТРУКЦИЯ И РАЗВИТИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

1.1 Задачи проектирования реконструкции железных дорог

Реконструкция железных дорог заключается в выполнении следующих видов работ: удлинение приемо-отправочных путей, развитие станций, укладку более мощного верхнего строения пути, переустройство плана линии, уположение расчетных уклонов в связи с увеличением массы грузовых поездов, строительство вторых и третьих главных путей, электрификация железных дорог и другие работы, направленные на увеличение скоростей движения и массы грузовых поездов.. Основным направлением развития железных дорог стало увеличение пропускной и провозной способности, развитие станций и узлов, внедрение более совершенных средств автоматизации, усиление путевого хозяйства.

Реконструкция железных дорог является составной частью плана развития народного хозяйства.. Характерной особенностью реконструкции железных дорог является то, что проектные решения должны быть такими, чтобы при проведении реконструктивных мероприятий помехи для движения поездов были бы минимальными.

Проходящие по территории Беларуси два транспортных коридора способствуют интеграции национальных железных дорог в мировую транспортную систему. Сроки доставки грузов из Китая и Юго-Восточной Азии до Западной Европы железнодорожными и автомобильными транспортными коридорами через государства – члены ЕврАзЭС в 2–2,5 раза дешевле, чем морским транспортом. Транспорт Таможенного союза России, Беларуси и Казахстана обновляется, расширяется сеть сервисных станций по диагностике, обслуживанию и ремонту транспортных средств.

. Одним из основных реконструктивных мероприятий Белорусской железной дороги в выполнении Программы развития железнодорожного транспорта на 2016-2020 годы является электрификация железнодорожных

участков Осиповичи – Жлобин, Жлобин – Гомель, Жлобин – Калинковичи, Молодечно – Гудогай – государственная граница Республики Беларусь (около 387 км). Развитие всех отраслей народного хозяйства приводит к необходимости постоянного совершенствования транспортных связей страны. Особое внимание уделяется техническому перевооружению железнодорожного транспорта. Увеличение размеров перевозок приводит к необходимости повышения пропускной и провозной способностей дороги. Увеличение провозной способности может быть осуществлено за счет роста пропускной способности или массы поезда. Это увеличение может быть достигнуто без изменения существующего технического оснащения за счет более полного использования внутренних резервов (проведение организационно-технических мероприятий).⁶

) Реконструктивные мероприятия (электрификация железных дорог, введение более мощных локомотивов, новых устройств сигнализации и связи, реконструкция трассы, введение безостановочного скрещения поездов, укладка вторых и третьих путей и др.) позволяют существенно увеличить провозную способность железной дороги. Проведение реконструктивных мероприятий требует значительных капитальных вложений.

Увеличение провозной способности железной дороги во времени предполагает этапное увеличение массы состава грузового поезда, изменение структуры путевого развития и вида тяги (рост скорости движения поездов происходит в связи с введением электрической тяги).

Поэтапное наращивание провозной способности дороги прослеживается на графике овладения перевозками. Потребность в перевозках на каждой дороге с течением времени возрастает. Увеличить ее можно за счет совершенствования технического оснащения при минимальных средствах на ее периодическое этапное усиление. Принимаемые проектные решения при реконструкции железных дорог должны быть экономически обоснованными такими, чтобы не мешали движению поездов на существующих линиях и помехи были бы минимальными

1.2 Электрификация – одно из основных реконструктивных мероприятий железной дороги

. На электрифицированные линии приходится доля общего объема железнодорожных перевозок страны больше, чем их удельный вес в протяженности сети, это видно из рисунка 2,1, на котором точки, соответствующие данным разных стран, лежат выше равнодолевой зависимости.

Также на электрифицированных линиях достигаются преимущества,

которые даёт электрическая тяга по сравнению с тепловозной: себестоимость перевозок, экономия топливно – энергетических ресурсов, воздействие на окружающую среду. Эти показатели различны для разных стран, во многом они зависят от конкретных составляющих себестоимости перевозок, но то, что промышленно развитые страны мира в разное время стали на путь электрификации железных дорог, осуществляя её разными темпами, говорит об положительной, а в некоторых странах и приоритетной тенденции в применении электрической тяги.

Зависимость объёма перевозок на электрической тяге ($T_{эл}/T$) от удельной протяжённости электрифицированных линий ($L_{эл}/L$) в разных странах мира показана на рисунке 2.1.

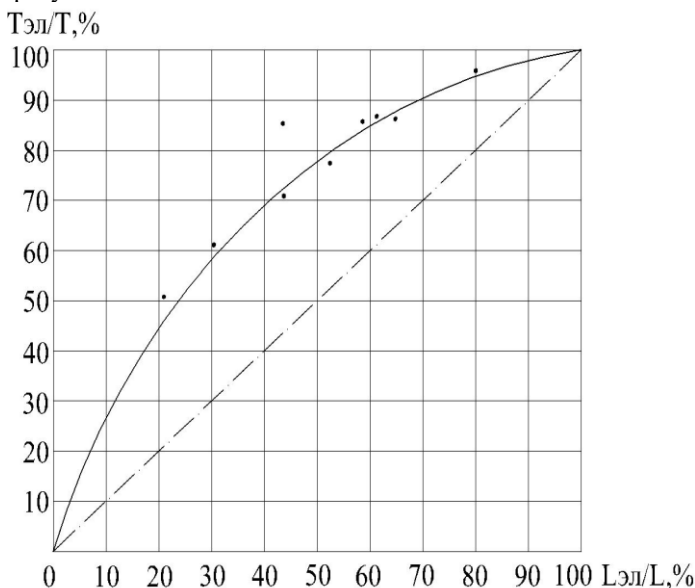


Рисунок 1.1 – Зависимость объёма перевозок на электрической тяге ($T_{эл}/T$) от удельной протяжённости электрифицированных линий ($L_{эл}/L$) в разных странах мира: L и T – соответственно протяжённость сети железных дорог, км, и объём перевозок, ткм брутто; $T_{эл}$ и $L_{эл}$ – то же для электрифицированных линий

Электрификация железных дорог на переменном токе имеет ряд дополнительных экономических преимуществ по сравнению с электрификацией на постоянном токе. Повышается КПД электрифицированной линии (в среднем на 3–5 %), так как уменьшаются потери энергии на тяговых подстанциях и в контактной сети. Вдвое сокращается (до 2,5–3,5 ткм для однопутных и 5–7 ткм для двухпутных

линий) расход цветных металлов (преимущественно меди), так как высокое напряжение переменного тока дает возможность подвешивать контактный провод меньшего сечения. При этом облегчается подвеска и экономится материал опор контактного провода, сокращаются стоимость сооружения каждой тяговой подстанции и их количество. При переменном токе тяговые подстанции можно размещать через 30–50 км, а при постоянном – через 10 – 25 км. Тяговые подстанции переменного тока значительно проще, надежнее и дешевле. Это существенно сокращает капитальные затраты по электрификации линии, себестоимость перевозок при этом снижается на 3 – 4 %.

Наличие двух систем тока вызывает необходимость в специально оборудованных станциях со стыкованием контактной сети или требует постройки электровозов постоянно-переменного тока (двойного питания). Применение таких электровозов снижает простои поездов при переходе с одной системы тока на другую, стоимость этих электровозов меньше, чем дорогостоящих и сложных переключающихся устройств станций стыкования.

Недостатком электрификации железных дорог на переменном токе является то, что нарушается нормальная надежная работа воздушных линий связи, которые приходится заменять кабельными подземными линиями связи, а это требует дополнительных капитальных вложений. В целом электрификация железных дорог на переменном токе обходится на 15 – 20 % дешевле, чем на постоянном. В перспективе при создании принципиально новых систем передачи электроэнергии постоянного тока на большие расстояния указанные соотношения затрат могут существенно измениться в пользу электрификации на постоянном токе.

При оценке эффективности электрификации железных дорог на переменном токе нужно учитывать не только ее экономические, но и социальные преимущества, которые не всегда можно измерить в стоимостном выражении: улучшение условий труда железнодорожников, условий жизни трудящихся в крупных городах и районах тяготения к электрифицированным железнодорожным линиям, создание больших удобств и комфорта при поездках пассажиров, уменьшение загрязнения окружающей среды. С применением электрификации на переменном токе создается возможность снабжения дешевой электроэнергией не тяговых потребителей во всех отраслях хозяйства железных дорог в прилегающих сельскохозяйственных районах (путейских работ на перегонах, погрузочно-разгрузочных и других работ на крупных и малых станциях

2АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ МИРА

2.1 Электрификация железных дорог за рубежом

Большинство промышленно развитых стран, исключая страны Северной и Южной Америки, отдают предпочтение в перевозочном процессе электрической тяге – это видно из таблицы 2.1. Таблица 2.1 – Показатели электрификации железнодорожных систем мира

Страна	Развёрнутая длина пути, тыс. км	Длина электрифицированной линии	
		тыс. км	%
Россия	175,5	104,6	59,6
КНР	124,9	80,2	64,2
Индия	115,3	44,9	38,9
ЮАР	31,0	24,8	80,0
Германия	43,5	20,2	46,4
Япония	27,2	16,9	62,1
Италия	24,2	16,7	69,0
Франция	29,9	15,7	52,5
Польша	26,6	11,6	43,6
Украина	22,3	9,8	43,9
Испания	15,9	9,6	60,4
Швеция	12,8	7,9	61,7
Великобритания	17,7	5,4	30,5
Казахстан	15,4	4,3	27,9
Румыния	22,3	3,9	17,5
Турция	12,3	3,2	26,0
Финляндия	5,9	3,1	52,5
Австралия	38,4	2,9	7,6
Чехия	9,5	2,6	27,4
Венгрия	7,9	2,5	31,6
США	257,7	1,6	0,6
Бразилия	29,8	1,4	4,7
Беларусь	5,5	1,1	20,5
Аргентина	36,9	0,2	0,5

Решение вопроса о переходе на электрическую тягу сводится к определению интервала грузооборота, при котором эксплуатационные расходы становятся ниже, чем при тепловозной тяге

Протяженность электрифицированных железных дорог различна на разных континентах и в регионах мира (рисунок 2.2.). Наибольший ее

удельный вес в общей протяженности таких линий мира приходится на страны Западной, Центральной, Восточной Европы (45,7 %) и страны СНГ (24,3 %), около 20 % – на страны Юго-Восточной Азии (в основном Япония, Китай, Индия) и 8 % – на Африку (в основном ЮАР) [3].

На электрифицированных железных дорогах мира лидирует система переменного тока – 55,1 % от их общей протяженности; на постоянном токе работает 43 % электрифицированных линий. Примерно на 2 % линии используются другие системы тягового электроснабжения.). Общая протяженность таких линий в мире составляет 4,8 тыс. км/.

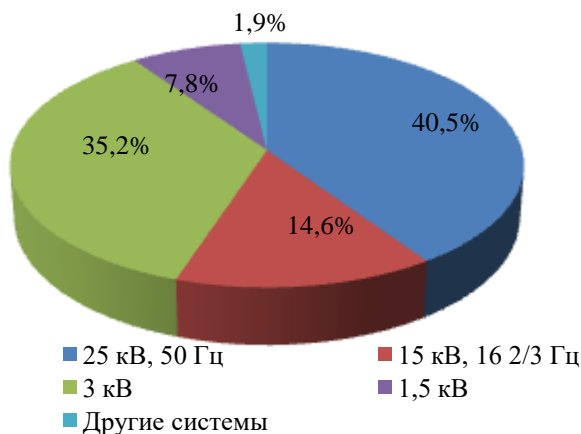


Рисунок 2.2 – Удельный вес различных систем тягового электроснабжения

Достаточно большая протяженность линий, электрифицированных на постоянном токе, согласно рисунку 2.2 является следствием того, что в период массовой электрификации железных дорог (30 – 50-е годы XX в.) это была единственная система тока (напряжение в контактном проводе 1,5 и 3 кВ), наиболее подходящая для практической реализации. Своим путем пошла Германия, создав систему тяги «нестандартного» переменного тока частотой 16 2/3 Гц и напряжением 15 кВ. В дальнейшем такая система получила распространение только в Европе (Австрия, Швейцария, Швеция и Норвегия). Япония использует электрификацию: постоянным током с напряжением 1,5 кВ и переменным с напряжением 20 кВ для обычных линий; для Синкансэн (высокоскоростная сеть) – 25 кВ переменным током; некоторые частные линии электрифицированы постоянным током напряжением 600 В и 750 В

Начиная с 50-х годов стали переходить к электрификации на переменном токе промышленной частоты 50 Гц при напряжении 25кВ, а до 2017 года прирост протяженности полигона постоянного тока небольшой.

Представленные данные европейских железных дорог обуславливаются подавляющим преимуществом в Европе пассажирского движения. Именно пассажирское движение обусловило лидирующую роль Европы в электрификации железных дорог, так как электротяга дает возможность реализовать высокие скорости, большие ускорения и более благоприятна в отношении экологических воздействий железных дорог на окружающую среду, что немаловажно для густонаселенной Европы[.5]

Тепловозная тяга может использоваться как «прикрытие» для электрифицированных линий в аварийных ситуациях. Например, во Франции при гололёде на контактной сети было полностью парализовано движение скоростных поездов TGV, на эти линии тепловозы собирали со всей Франции и соседних государств. Такие же проблемы возникают в гололёдных районах Украины и Северного Кавказа.

Северная Америка занимает при решении этого вопроса особую позицию. Грузооборот железных дорог в США и Канаде больше европейского. Однако эти две страны с развитой экономикой и обширными территориями ориентированы на применение тепловозной тяги, что обусловлено необходимостью больших капиталовложений в электрификацию, низкими ценами на дизельное топливо, большими затратами на содержание инфраструктуры, значительными затратами на реконструкцию тоннелей и мостов для соблюдения необходимого габарита, исключением перевозки контейнеров в два яруса, массовой автоматизацией пассажирских перевозок.

В 50-е годы XX века США активно вели электрификацию железных дорог: протяжённость электрифицированных линий достигла 5000 км из 40000 км во всём мире (12,5%), однако в 80-е годы осталось 2000 км из 165000 км в мире (1,2%), 3000 км были деэлектрифицированы – переведены на тепловозную тягу.

Деэлектрификация железных дорог проводилась не только в США. В Южной Америке при приватизации железных дорог для мелких компаний оказалось дорогим содержание инфраструктуры электроснабжения при небольших размерах движения. В Бразилии демонтировали контактную сеть на 460 из 581 км колеи 1000 мм, продали 131 электровоз и приобрели 40 тепловозов. Грузы были направлены в обход по электрифицированной колее 1600 мм. Аналогично поступили в Чили, деэлектрифицировав участок длиной 400 км, на котором перевозки оживлялись на 3 месяца летом, в остальное время по нему проходила одна пара поездов в сутки массой 2000 т, для которых было достаточно двух тепловозов мощностью 1600 – 2750 л. с.

Эти примеры подтверждают наличие для каждой железной дороги величины грузооборота, выше которого становится технико-экономически оправданным применение электрической тяги.

В Италии с 1900 по 1928 годы делались попытки создать трёхфазную

систему тягового электроснабжения переменного тока (два разнополярных контактных провода – рельс): первоначально 3,6 кВ, 16 2/3 Гц (Миланский узел), затем 10 кВ, 45 Гц (Рим – Сульмана). Однако сложная контактная сеть и токосъём обусловили перевод этих участков в 1928 году на постоянный ток напряжением 3 кВ. Долгое время эта система тяги была единственной в Италии. В 80-х годах группа специалистов фирмы Ansaldo совместно с итальянскими железными дорогами начала проработку системы тяги постоянного тока повышенного напряжения – 12 кВ. Ими теоретически была доказана эквивалентность этой системы по энергетическим показателям системе тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ, 50 Гц, но практически система 12 кВ не была реализована.

Ограниченность возможностей существующей системы тяги постоянного тока 3 кВ в обеспечении высокоскоростного движения (максимум 200 – 250 км/ч) привела к изменению позиции итальянских железных дорог. Для скоростных и высокоскоростных магистралей было решено использовать систему 20кВ, 50 Гц переменного тока. Исследования по созданию электротяги постоянного тока повышенного напряжения были прекращены.

Южно-Африканская республика (ЮАР), имея потребность в больших объёмах угольно-рудных перевозок, начала электрификацию железных дорог в 1926 году и довела их протяжённость к настоящему времени до 80% сети (четвёртое место в мире по абсолютной протяжённости электрифицированных линий). На железных дорогах ЮАР применяются три системы электротяги: 25 кВ, 50 Гц переменного тока, 3 кВ постоянного тока и 50 кВ, 50 Гц переменного тока. Последняя система тока единственная в мире на линиях такой протяжённости: она обеспечивает угольные перевозки по замкнутому маршруту Сайшен – Салданья от угольного и рудного месторождений до побережья океана. Это одна из наиболее реальных систем, которые могут быть использованы при создании в перспективе супермощных электрифицированных магистралей для грузонапряжённых железнодорожных транспортных коридоров.

Во Франции существует двойная электрификация: 1) на постоянном токе напряжением 1,5 кВ для классических линий переменного тока южной и западной Франции. Испытания этих линий, электрифицированных на 16 2/3 Гц были прекращены из-за того, что универсальные электродвигатели плохо реагировали на промежуточную частоту. Выбранный вариант заключался в использовании полупроводниковых элементов восстановления тока тяги.

2) на переменном токе напряжением 25 кВ частотой 50 Гц – это промышленная частота для классических линий, введенных в эксплуатацию в 1955 году. Введение этой системы было необходимо для сокращения:

затрат на электрификацию за счет упрощения вспомогательного оборудования и контактной линии, стоимости тяги, числа поездов на рудниках северо-востока Франции, интервалов подстанций. Все новые высокоскоростные линии Франции и новые направления традиционной сети в настоящее время оснащаются током в 25 кВ, со всеми предусмотренными изменениями в габаритах и в сигнализации.

С учетом инвестиций в наземное оборудование и локомотивы, в настоящее время очень трудно изменить характер электрификации во Франции, для этого необходимо снабдить единицы тяги оборудованием для двух видов тяги, увеличить габариты структуры (резерв от 5 см до 25 см для перехода от 1,5 кВ к 25 кВ), оборудовать сеть двойной цепной контактной сетью питания.

Железная дорога Японии состоит из: 22 313 км Капской колеи (1067 мм), из которых 13 280 километров электрифицировано; 3 978 км Европейской колеи (1435 мм) – полностью электрифицирована; 96 км Шотландской колеи (1372 мм) – полностью электрифицирована; 48 км узкой колеи (762 мм) – полностью электрифицирована. Стандартом на железнодорожной сети Японии является ширина колеи 1067 мм.

В Японии используется электрификация постоянным током с напряжением 1,5 кВ и переменным с напряжением 20 кВ для обычных линий; для Синкансэна – 25 кВ переменным током. Некоторые частные линии электрифицированы постоянным током напряжением 0,6 кВ и 0,75 кВ. Частота переменного тока равна 60 Гц в западной части Японии и 50 Гц в восточной.

В ЮАР применяется также частичная электрификация железнодорожных линий с преимущественно тепловозной тягой на основе комбинированных локомотивов – «тепловоз – электровоз». На участках, где они используются, контактной сетью оборудованы только затяжные подьёмы, лимитирующие пропускную способность; на них «электровозная» часть локомотива подключается к «тепловозной», что позволяет преодолеть подьём без снижения скорости.

Приоритетность электрификации железных дорог ЮАР обусловлена низкой себестоимостью перевозок благодаря дешёвой электроэнергии.

По той же причине Швеция и Норвегия имеют большой удельный вес электрифицированных линий по протяжённости – 61,7 и 60,3 % соответственно. Это объясняется также дешёвой электроэнергией, вырабатываемой гидроэлектростанциями.

2.2 Электрификация железных дорог в России

Впервые об электрификации железных дорог упоминается в ленинском плане ГОЭЛРО, утвержденном в 1920 году, где говорилось о

восстановлении железных дорог и их электрификации. План ГОЭЛРО предусматривал создание основной сети железных дорог, которые обеспечат меньшую стоимость перевозок и высокую провозную способность. В плане была выдвинута идея превращения существующих железных дорог в магистрали с помощью их электрификации.

Уже в 20-е годы была построена широтная магистраль Казань – Свердловск. В 1930 году введен в строй Турксиб: Семипалатинск – Алма-Ата – Луговая – кратчайший путь из Сибири до Дальнего Востока. Здесь впервые на изысканиях была использована фототеодолитная съемка.

С ростом грузооборота потребовалась реконструкция существующих железных дорог, и в частности строительство вторых путей. Начались работы по электрификации железных дорог Москва – Александровка, Чудовская – Свердловск, Кандалакша – Имандра.

В 1956 году правительство Советского Союза приняло Генеральный план электрификации железных дорог (полностью переход на тепловозную и электрическую тягу). В 1959 году СССР вышел на первое место в мире по протяжению электрифицированных железных дорог, а в 1961 году была электрифицирована самая длинная магистраль Москва – Байкал (15,5 тыс. км). Были переведены на электрическую тягу железнодорожные линии: Ленинград – Москва – Кавказ, Москва – Горький – Свердловск, Донбасс – Кузбасс – Чан, Москва – Брест и др. Протяженность электрифицированных железных дорог в 1986 году превысила 50 тыс. км, из 144,9 тыс. км их общей длины.

Основой реконструкции железнодорожного транспорта является электрификация главных направлений сети. Россия по-прежнему занимает первое место в мире по протяженности электрифицированных железных дорог – 44 тыс. км (50 % их общей длины).

Пропускная способность в грузовом направлении при электрической тяге на 10–20 % выше, чем при тепловозной, себестоимость перевозок ниже на 15–20 %. Затраты цветного металла при электрификации составляют от 5 до 10 т/км. Электрическая тяга неавтономна. Введение электрической тяги эффективно на двухпутных магистралях большой грузонапряженности, на участках с большим пассажирским и пригородным движением на грузонапряженных однопутных линиях с трудными условиями рельефа местности.

Железнодорожный транспорт в России – одна из крупнейших железнодорожных сетей в мире. Как видно из таблицы 2.1, общая протяжённость железнодорожных путей составляет более 175 тыс. км, из них электрифицировано 104 тыс. км, Россия занимает второе место в мире, уступая США (257 тыс. км), опережая Китай (124 тыс. км.). Железнодорожным транспортом в России перевозится 27% пассажиров и 45% грузов (без учёта трубопроводного транспорта — 87% грузов).

Крупнейшей отраслевой компанией России является ОАО «Российские железные дороги».

Характерной особенностью железнодорожного транспорта в России является высокая доля электрифицированных дорог.

Многообразие природно-географических и эксплуатационно-технических условий, в которых осуществляются развитие и работа железнодорожного транспорта, позволяет наиболее экономично сочетать оба вида тяги с учетом их технико-экономических особенностей, т.е. устанавливать сферы эффективного применения электрической и тепловозной тяги без противопоставления их друг другу.

Определение сфер эффективного применения каждого вида тяги с экономико-математической точки зрения представляет собой решение многовариантной задачи. Степень экономичности видов тяги зависит от множества условий и факторов. Важнейшими из них являются: грузонапряженность с учетом перспективы ее роста, количество главных путей, степень трудности профиля пути, стоимость постоянных устройств электроснабжения, тип и стоимость локомотивов (электровозов и тепловозов), соотношение цен на топливо и электроэнергию во времени и по территориальным районам страны

Анализируемый период 1995–2010 гг. был не самым лучшим в развитии их электрификации. До 2010 года почти 70 процентов всех инвестиций в хозяйство было направлено на новую электрификацию, что в свою очередь создавало «благоприятную» общую картину по износу основных фондов на дорогах и сети в целом за счет ввода новых мощностей и не отражало истинного положения дел на полигоне со сверхнормативным сроком службы, где выработали свой ресурс почти 420 тысяч опор контактной сети (на некоторых участках постоянного тока срок их эксплуатации в полтора раза превысил нормативный), 3066 единиц (65 процентов общего количества) понижающих и тяговых трансформаторов подстанций. Из 1554 единиц специального самоходного подвижного состава 348 (23 процента) эксплуатируются свыше нормативного срока, и такой парк ежегодно в среднем увеличивается на 70 машин.

Начисленная амортизация по хозяйству электрификации и электроснабжения за семь лет (2000–2010 годы) составила 61,9 млрд. рублей, а на отраслевую программу обновления основных фондов за этот период выделено всего 23,1 млрд. или 37 %. За счет этих средств в 2000–2010 годах полностью реконструировано всего 3344,5 километра контактной сети. Однако при сохранении таких объемов финансирования и реконструкции основных фондов протяженность полигона со сверхнормативным сроком эксплуатации устройств к началу 2012 года увеличилась еще на 8,3 тыс. километров контактной сети и составит 59,2 тысячи, или половину протяженности электрифицированных линий. При

сроке эксплуатации более сорока лет расходы на текущую эксплуатацию контактной сети выше в 1,7 раза по отношению к десятилетнему сроку, а на капитальный ремонт – выше в 3,9 раза (по тяговым подстанциям в 1,4 раза и в 6 раз соответственно).

Анализ показывает, что при сохранении существующих темпов реконструкции полигон электрифицированных железных дорог к 2030 году будет составлять 85 тыс. километров (73 %). Для того чтобы стабилизировать положение, необходимо наращивать ежегодные темпы обновления: в период с 2010 по 2020 год с 600 до 1500 километров контактной сети (с увеличением финансирования до 20 000 млн. рублей) и до 2030 года реконструировать по 2000 километров (с увеличением лимитов до 45 000 млн. рублей). За счет этих средств планируется также осуществлять реконструкцию линий автоблокировки и продольного электроснабжения, не менее 15-20 тяговых подстанций ежегодно, внедрять современные машины и механизмы, средства диагностики.

Электрификация отдельных маршрутов РЖД всегда рассматривалась в первую очередь с позиции экономической целесообразности и уже затем, с позиции возможностей увеличения уровня комфорта для пассажиров.

Так как строительство новых железнодорожных линий не прекращается и, опираясь на собственный анализ перспективного развития российской экономики, принимая во внимание перспективы развития иных транспортных сфер, железнодорожники представили обществу цифры основных показателей, которые надеются получить, будучи уже на финишной прямой 2030 года. Основные показатели – это соответственно грузовой оборот и пассажирооборот. Так вот, по грузообороту по программе-минимум предполагается получить результат, превышающий 3,0 трлн. тонн/км, тогда как пассажирооборот прогнозируется до цифры 202 млрд. пасс. /км. Согласно стратегии, существует также программа-максимум и здесь прогнозируемые цифры еще более внушительны. Грузооборот по максимуму должен достичь значения 3,3 трлн. тонн/км. Соответственно максимальный пассажирооборот железнодорожники намереваются довести до 231 млрд. пасс./км.

Интересная деталь прогнозов деятельности РЖД на 2030 год – цифры, характеризующие грузопотоки Байкало-Амурской магистрали. Если верить прогнозам, на момент 2030 года интенсивность перевозок на БАМе увеличится практически в десять раз, что в цифровом эквиваленте будет соответствовать 70 млн. тонн/км. Причина такого существенного увеличения – разработка и освоение новых месторождений полезных ископаемых на территории Якутии, а также на других территориях Дальнего Востока. Прогнозируется также увеличение роста количества поездок пассажиров и связывается данный прогноз с такими показателями,

как повышение уровня качества обслуживания на РЖД, усиление деловой активности граждан, рост финансовых доходов.

Предполагается, что электрификация РЖД будет осуществляться в первой половине нынешнего столетия и далее, преимущественно на переменном токе 25 кВ 50 Гц. Однако в отдаленной перспективе, по мере прогрессирующего развития силовой управляемой полупроводниковой техники, возможна постановка задачи применения для электрической тяги постоянного тока повышенного напряжения 24 кВ, для которого энергетическая эффективность в сопоставлении с тягой переменного тока может оказаться более высокой (по экономии энергии, КПД, электромагнитной совместимости).

Электрификация железных дорог предусматривает наличие мощной инфраструктуры – системы тягового электроснабжения (внешнее электроснабжение, тяговые подстанции, контактная сеть, другие линейные устройства, предприятия обслуживания и ремонта). В настоящее время в России разработаны блочно-модульные подстанции постоянного тока, двухуровневая система автоматики тяговых подстанций на базе микропроцессоров и микроконтроллеров и цифровой системы передачи данных. Ряд новых разработок включает эксплуатацию на реконструированной под скоростное движение магистрали Москва – Санкт-Петербург с обращением скоростных поездов «Сапсан» со скоростью, достигающей 250 км/ч.

Начиная с 1990-х годов в России был взят курс на широкомасштабное применение мобильных зданий усовершенствованной конструкции, которые сделали возможным более чем двукратное сокращение капитальных затрат на сооружение объекта при столь же существенном сокращении сроков строительства, а также обладали множеством других преимуществ:

1. Высокой степенью заводской готовности размещаемого внутри оборудования, что позволяло основной объём монтажных и пусконаладочных работ вести в заводских условиях, отличающихся комфортными условиями, а следовательно – высокими качеством и производительностью труда, доля трудозатрат непосредственно на объекте была сведена к минимуму.

2. Наличием возможности реализовать всю необходимую номенклатуру схемотехнических решений, от самых простых до наиболее сложных.

3. Приспособленностью к демонтажу и перевозке (при необходимости) на новое место эксплуатации.

Интенсификация прироста электрифицированных линий обусловлена конкурентной привлекательностью скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения, низкой себестоимостью перевозок по

сравнению с автомобильным и авиационным транспортом, ужесточением экологических требований.

Страны СНГ имеют электрифицированные линии, протяженность которых составляет 41 % общей протяженности сети железных дорог, а объем перевозок по ним составляет 71,6 % /. В основном это соотношение определяется Российскими железными дорогами (далее РЖД), составляющими по протяженности 70% сети электрифицированных железных дорог СНГ (15,4 % – Украина, 6,3 % – Казахстан, 8,5 % – остальные страны). В СНГ, как и в Европе, по системе переменного тока (25 кВ, 50 Гц) электрифицировано 53 % линий , на постоянном токе – 47 % (3кВ). Железные дороги Армении и Грузии электрифицированы полностью, а в Азербайджане электрическая тяга применена на 60 % линий (по протяженности и выполняет 84 % объема перевозок.

Проанализировав статистическую зависимость доли относительного объема перевозок при электрической тяге $G_{эл.}/G$ ($G_{эл.}$ – объем перевозок при электрической тяге, G – общий объем перевозок по железным дорогам) к протяженности электрифицированных линий $L_{эл.}/L$ ($L_{эл.}$ - длина электрифицированных линий, L –общая длина железных дорог), видно, что электрификация 45 -55 % от общей протяженности железных дорог обеспечивает грузооборот 78 -88 % от всего объема перевозок страны. По абсолютной протяженности электрифицированных железных дорог среди стран мира лидирует Россия (40,3 тыс. км или 9 % от общей протяженности железных дорог мира). Электрифицированные железные дороги России составляют 46,8 % общей протяженности сети железных дорог страны и выполняют 77,7 % общего объема железнодорожных перевозок, что в 4 раза больше выполняемого тепловозной тягой. По оптимистическому сценарию к 2030 году возможна электрификация еще 14 % железнодорожных путей, т.е. всего 34% общей протяженности , железной дороги, которые выполняют 57 - 60 % всего объема грузовых перевозок. А электрификация 50 % железнодорожных путей обеспечит выполнение объемов перевозок до 80 - 84 %.

2.3 Особенности электрификации Белорусской железной дороги

Развитие электрификации Белорусской железной дороги позволит повысить эффективность железнодорожных перевозок, их скорость и снизить нагрузку на экологию страны. В настоящее время протяженность магистральных линий железной дороги в Беларуси составляет 5,5 тыс. км, из них 1,128 тыс. км, или 20,5%, электрифицированы. На электрифицированных участках выполняется 25% грузооборота и 30% пассажирооборота.

Электрификация железных дорог направлена на повышение качества обслуживания пассажиров и конкурентоспособности на внутреннем и международном рынках транспортных услуг.

Первый участок Белорусской железной дороги Минск-Осиповичи был электрифицирован в 1963 году. В настоящее время полностью электрифицирована Белорусская часть II Общевропейского транспортного коридора Брест – Минск – Орша - Госграница с РФ [2], а также часть IX Общевропейского коридора Гудогай – Молодечно – Минск – Осиповичи - Бобруйск-Жлобин - Гомель.

Высокое напряжение в контактной сети при электрификации становится причиной помех в радиосвязи и оказывает влияние на исправность и безотказность работы устройств централизации и блокировки. Поэтому возникает необходимость в модернизации устройств СЦБ и связи, так как в условиях работы на электротяге предъявляются более высокие требования к их техническим характеристикам и технике безопасности.

При электрификации Белорусской железной дороги динамика менялась в зависимости от конъюнктуры рынка. Если рассматривать участки Осиповичи - Бобруйск, Осиповичи - Жлобин и др., то электрификация на увеличение грузопотока здесь не повлияла. Она направлена на уменьшение издержек за счет перехода с тепловозной тяги на электрическую (себестоимость перевозок снижается примерно на 10-15%), на увеличение производительности локомотива, так как скорость электровозов на рукавном подьеме может вдвое превышать скорость тепловозов (например, расчетная скорость тепловоза 2ТЭ10Л 23,4 км/ч, а электровоза ВЛ80^к 46,7 км/ч, т.е. вдвое больше). Экономический эффект от электрификации будет получен за счет пропуска тяжелых грузовых поездов, но для этого необходимо провести удлинение путей на некоторых станциях (например на направлении Минск-Жлобин-Гомель), что позволит организовать и пропускать поезда - весом 7-9 тыс. тонн.

Плюс электрификации и в продвижении грузопотока. Если раньше поездам в направлении Юг-Север приходилось менять тягу с тепловозной на электровозную, что увеличивало время их простоя на станции Осиповичи, то сейчас эта проблема снята, и смена тягового подвижного состава производится на станции Жлобин.

На станцию Ситница, с которой ведется масштабная отправка щебня, приходится значительная доля грузовой работы Белорусской магистрали. В связи со строительством горно-обогатительного комбината на базе месторождения «Ситницкое» нагрузка будет увеличиваться. Поэтому специалисты считают целесообразным для снижения себестоимости перевозок электрифицировать участки Барановичи - Лунинец - Ситница (с

учетом реализации проекта строительства второго пути на перегоне Ситница-Лахва) [1].

В связи со строительством в Беларуси атомной станции преимущества электрической тяги проявятся в полной мере. Поскольку сразу электрифицировать Белорусскую железную дорогу невозможно, то следует рассмотреть этапность проведения электрификации участков Белорусской железной дороги. Кроме того, Беларусь находится в полигоне электрифицированных железных дорог России, Украины и Польши, что обусловит в перспективе дальнейшую электрификацию Белорусской железной дороги

Госпрограммой развития железнодорожного транспорта Беларуси до 2020 года предусмотрена электрификация участков Жлобин – Калинковичи, Молодечно – Гудогай – Госграница, а также обходов Минска Колодищи – Шабаны и Гатово – Михановичи. Общая протяженность электрифицируемых участков, составляет 236 км.

Бел.ж.д. ведет переговоры с железнодорожными администрациями Латвии, Украины и России об электрификации приграничных участков.

По оценке специалистов Бел.ж.д. себестоимость перевозок на электрифицированных участках снизится на 26%, потребление топливно-энергетических ресурсов – на 15%, на 19% повысится весовая норма поездов, на 24% возрастут техническая и маршрутная скорости движения грузовых и пассажирских поездов [3].

Определение направлений перспективной электрификации выполнялось с учетом многих факторов. За основу принимается то, что электрификация новых участков возможна после электрификации участков Жлобин – Калинковичи – Барбаров и Молодечно – Гудогай, обхода Колодищи – Шабаны, Гатово – Михановичи. Одним из основных факторов комплексного решения об электрификации является грузонапряженность участков. Необходимо детально прогнозировать объемы грузовых перевозок на перспективу – в том числе с учетом создания Объединенной транспортно-логистической компании, формирования Евразийского экономического союза, развития скоростного движения.

Как отметил начальник Белорусской железной дороги, Владимир Морозов, к 2030 году мы должны полностью электрифицировать основные грузонапряженные участки, чтобы максимально использовать экономическую эффективность электровозной тяги. Приоритетом для развития дороги является повышение скоростей движения поездов. Уже сегодня на отдельных участках маршрута Минск – Брест электропоезда могут разгоняться до 160 км/ч, на некоторых перегонах между Минском и Гомелем – до 140 км/ч. Важнейший элемент модернизации инфраструктуры – внедрение устройств централизации с применением микропроцессорных технологий и заменой напольного

оборудования на необслуживаемое. Продолжается планомерное обновление тягового подвижного состава и парка грузовых вагонов. Одним из ключевых направлений деятельности дороги по-прежнему является увеличение объемов перевозок грузов ускоренными контейнерными поездами. [4].

Требуется детальная проработка полигона перспективной электрификации с учетом выполненного технико – экономического обоснования, информации от железнодорожных администраций России, Латвии, Украины по прогнозам объемов и структуре перевозок, а также о решении этих стран по вопросам электрификации приграничных с Беларусью участков. В период с 2016-го по 2020 год основную часть финансирования планируется направить на развитие железнодорожной инфраструктуры. В числе приоритетных целей новой госпрограммы – развитие инфраструктуры железнодорожного транспорта, внедрение гибких технологий перевозочного процесса, которые бы обеспечивали повышение производительности труда персонала и конкурентоспособность организаций железнодорожного транспорта.

При реализации госпрограммы планируется внедрение ряда инвестиционных проектов. В том числе электрификация железнодорожных участков, развитие систем автоматики, телемеханики и связи, приобретение тягового и моторвагонного подвижного состава, вагонов грузового и пассажирского парков. Финансирование предусматривается за счет собственных средств Белорусской железной дороги, заемных средств, средств республиканского бюджета.

Решение задач госпрограммы обеспечит к 2020 году по отношению к 2015-му увеличение объемов перевозок грузов и пассажиров, снижение потребления топлива на тягу поездов после электрификации железнодорожных участков и перевода движения поездов на электровозную тягу, увеличение объема перевозок экспортных грузов, уменьшение энергоемкости на выполнение перевозок грузов и пассажиров на железнодорожном транспорте.

Схема электрификации Белорусской железной дороги и перспективы её развития изображены на рисунке 2.2

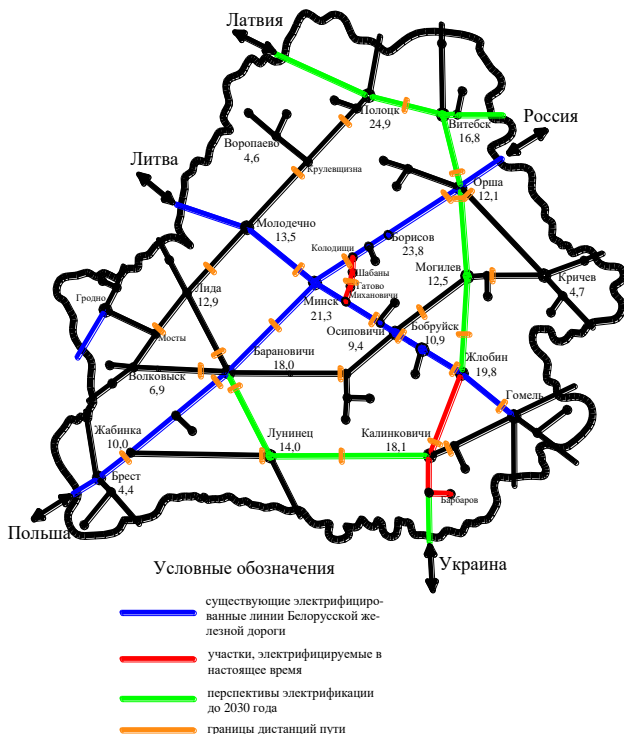


Рисунок 2.2 - Схема электрификации Белорусской железной дороги и перспективы её развития

В последние годы Белорусская железная дорога развивается в направлении расширения объемов перевозок тяжеловесными и длинно-составными поездами, электрификации наиболее значимых участков, ввода в эксплуатацию нового электроподвижного состава большой мощности, повышения скоростей движения пассажирских и грузовых поездов

. В настоящее время завершена электрификация направления Гомель – Жлобин – Осиповичи и Жлобин – Калинковичи. Электрификация участков Гомель – Жлобин – Осиповичи и Жлобин – Калинковичи дает возможность Белорусской железной дороге создать единую электрифицированную транспортную сеть для эффективной эксплуатации электровозов в грузовом и пассажирском движении. Воплощение проекта в жизнь потребовало немалых затрат, но специалисты уверены – плюсов от его реализации гораздо больше. Себестоимость перевозок на этом участке снизилась на 26%, потребление топливно-энергетических ресурсов – на 15%, на 19% повысилась весовая норма поездов, на 24% возросла

техническая и маршрутная скорости движения грузовых и пассажирских составов.

Электрификация это не только имидж Белорусской железной дороги, это престиж страны. Проект полностью соответствует Национальной стратегии социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 года. Основными направлениями развития транспорта в ней предусмотрено: «обеспечение перевода ряда железнодорожных участков на электрическую тягу, завершение обустройства международных транспортных коридоров, проходящих по территории страны». В числе основных приоритетов государства сейчас все чаще называется энергетическая безопасность. И электрификация транспортного сообщения, особенно железнодорожного, будет способствовать ее усилению.

В настоящее время Беларусь импортирует около 82% энергоносителей. Доля потребленного Белорусской железной дорогой дизельного топлива в общем расходе транспортного комплекса страны составляет – 15%, в целом по стране – 5%, а доля потребленной электрической энергии не превышает 1,2% в общереспубликанском объеме.

Выгоду от электрификации железных дорог просчитали еще в начале минувшего века. Специалисты убедились: электрическая тяга, в отличие от тепловозной, более экономична. Например, удельный расход топлива в условном исчислении при тепловозной тяге в грузовом движении составляет примерно 43 кг на 10 тыс. тонно-километров брутто, при электрической тяге электроэнергия, приведенная к топливу, составляет 34,5 кг, это на 8,5 кг меньше. А после завершения строительства АЭС использование электропоездов станет еще выгоднее. Кроме того, электрификация позволяет использовать современные виды подвижного состава и коренным образом изменяет условия работы локомотивных бригад. При электрической тяге появляется возможность развивать на железной дороге высокоскоростное движение. А ведь именно скорость транспортного сообщения влияет на эффективность экономических связей и подвижность населения. Значимым социальным эффектом электрификации является общепринятый на транспорте показатель – непроизводительные потери пассажиров. За счет их сокращения в сфере пассажироперевозок социальный эффект при электрификации – по оценке специалистов – может ежегодно составить десятки миллионов долларов. А скорости, реализуемые при пассажирских перевозках, смогут соперничать даже со скоростями воздушного транспорта.

Для Беларуси электрификация железнодорожных магистралей – задача стратегическая. Она решает не только важные социально-экономические, но и экологические проблемы. При осуществлении магистральных перевозок грузов и пассажиров на участках Осиповичи – Жлобин – Гомель и Жлобин – Калинковичи в настоящее время сжигается

почти 29 тыс. тонн дизельного топлива в год, при этом в атмосферу выбрасывается около 5 тыс. тонн вредных веществ.

Экологические выплаты ежегодно составляют около 1,5 млрд. рублей. Электрификация позволяет заметно уменьшить эти расходы. В зоне электрических магистралей, а особенно на станциях и вокзалах, воздух будет чище, не будет происходить загрязнение его продуктами сгорания. Уменьшится уровень загрязнения территорий депо нефтепродуктами, снизится шумовая и вибрационная нагрузка от локомотивов. Электрификация железных дорог позволяет уменьшить отрицательное воздействие на окружающую среду, поскольку дорожные линии проходят по территориям сельхозугодий, лесов, болот, являющихся естественной средой обитания живых организмов, через малые и крупные населенные пункты.

. Специалисты подсчитали: использование электрической тяги в два раза уменьшит потребность в локомотивных бригадах на направлении Минск – Витебск, появится возможность введения здесь еще одного тягового плеча и перспектива задействовать электрическую тягу в грузовом и пассажирском движении для поездов, которые следуют из Калинковичей и Гомеля в направлении Орши и Витебска. Электрификация этих направлений сократит простой локомотивов и локомотивных бригад в пунктах перецепки электропоездов на тепловоз при следовании пассажирских поездов по маршруту Минск – Витебск – Санкт-Петербург по станции Орша и расходы на эксплуатацию локомотивов. Появится возможность использования современных электропоездов в местном сообщении для ускоренного регионального движения, что обеспечит увеличение объема перевозок пассажиров в местном сообщении на 9 – 12%.

В государственной программе развития железнодорожного транспорта на 2016—2020 годы одним из существенных направлений является усиление транзитного потенциала, так как именно этот аспект программы в наибольшей степени касается интересов России.

Среди перечисленных в программе основных инвестиционных проектов на первом месте стоит приобретение тягового и моторвагонного подвижного состава, а также вагонов. На втором месте — электрификация железнодорожных линий. На третьем значится развитие Минского железнодорожного узла. И, на конец, завершает список инвестиционных проектов развитие межрегионального пассажирского сообщения. Стоимость реализации программы оценивается в 146,7 трлн. белорусских рублей (порядка 150 млрд. рублей). В программе дан краткий анализ конкурентной среды, в которой работает Белорусская железная дорога, и отмечено чрезвычайно большое значение для нее российского экспорта и импорта. Существенную роль транзита через Белоруссию составляют российские грузы, направляемые и следующие из Калининградской

области. Особое беспокойство белорусских властей вызывает переориентация российских экспортных грузовых потоков в порты восточной части Финского залива: Усть-Лугу, Высоцк и Приморск. В этих условиях в Белоруссии возлагают надежды на увеличение транзита по II и IX Международным транспортным коридорам. В первом случае речь идет о направлении Восток—Запад, а во втором — о сухопутной связи бассейнов Черного и Балтийского морей.

Наиболее затратным проектом является электрификация. Электрифицированы линии: Жлобин—Гомель. Молодечно—Гудогай—граница Белоруссии и Литвы, Жлобин—Калинковичи, Колодищи—Шабаны и Гатово—Михановичи, выполнена модернизация контактной сети на участках Молодечно—Минск—Осиповичи 16 тяговых подстанций. Общая протяженность переведенных на электротягу участков составила 387 км. Электрифицируемые участки выстраиваются в международную магистраль, составляющую часть IX Трансъевропейского транспортного коридора, а именно ту его ветвь, которая идет с Украины через Белоруссию в Литву и Калининградскую область. Необходимые для реализации этого масштабного проекта кредиты предоставил Экспортно-импортный банк Китая. Неудивительно поэтому, что генеральным подрядчиком по строительству этих объектов стала корпорация CUEC, из Китайской Народной Республики. Субподрядчиком выступило УП «Белтрансавтоматика», входящее в структуру БЖД.

Выгодой от внедрения электрификации для железных дорог является:

1) повышение эффективности перевозок грузов за счет снижения эксплуатационных расходов через уменьшение использования горюче-смазочных материалов и оптимизации тяги за счет удлинения плеч обслуживания подвижного состава;

2) увеличение пропускной способности железных дорог, которая будет реализовываться за счет повышения массы поездов, увеличения скорости перевозки и повышения показателей использования подвижного состава;

3) улучшение экологической безопасности и уменьшение уровня экологических платежей через уменьшение расходов на экологические сборы и уменьшение рисков применения штрафных санкций за загрязнение окружающей среды

.Среди потребителей электрогигии Белорусская елезная дорога занимает особую позицию. Это обусловило появлектрификации, главное преимущество которой заключается в сокращении эксплуатационных расходов дороги, а именно затрат на оплату энергоресурсов для тяги поездов.

По оценке иностранных специалистов, стоимость перевозок при электрификации снижается в 1,5 раза, а потребление топливно-энергетических ресурсов на 15%. Очевидным преимуществом электрической тяги над тепловой является ее экономичность. Электрификация способствует

увеличению технической и маршрутной скорости движения грузовых и пассажирских поездов, повышению весовых норм перевозки грузов.

С переводом железной дороги на электрическую тягу существует возможность развивать высокоскоростное движение поездов. На Российских железных дорогах эта тенденция развивается очень быстро [4].

Учитывая выше сказанное, дальнейшее развитие электрификации Белорусской железной дороги (далее Бел.ж.д.) в общем итоге позволит повысить эффективность железнодорожных перевозок, их скорость и снизить нагрузку на экологию страны. Республику Беларусь затронули условия развития и углубления международного сотрудничества (формирование международных транспортных коридоров), обеспечивающего возможность унификации параметров транспортной инфраструктуры и применения единой технологии перевозок. Причиной этого является определение девяти общеевропейских транспортных коридоров на II Общевропейской конференции в 1994 г. на о. Крит (Греция), инфраструктура которых должна быть полностью модернизирована и соответствовать текущим стандартам. Два из транспортных коридоров проходят по территории Республики Беларусь.

Преимуществом использования второго международного транспортного коридора Красное -Брест, который на протяжении 615 км проходит по территории республики Беларусь, является сокращение на 30-35 % расстояния перевозок с Востока на Запад. Девятый международный транспортный коридор через республику Беларусь обеспечивает устойчивую транспортную связь между северными и южными морями Европейского континента.

Госпрограммой развития железнодорожного транспорта Беларуси до 2020 года предусмотрена электрификация участков Жлобин – Калинковичи – ст. Барбаров, обходов Минска Колодищи – Шабаны и Гатово – Михановичи и окончание электрификации участка Молодечно – Гудогай – Госграница. Бел.ж.д. ведет переговоры с железнодорожными администрациями Латвии, Украины и России об электрификации приграничных участков.[2].

В настоящее время Республика Беларусь входит в Единую энергетическую систему БРЭЛЛ (Беларусь, Россия, Эстония, Литва, Латвия) и может обмениваться электроэнергией с другими странами с помощью протянутых между ними линий электропередач [4]. Все они связывают особые надежды с введением в эксплуатацию в Республике Беларусь АЭС, вырабатываемая электроэнергия которой, будет дешевле производимой в настоящее время.

При анализе экспертов в сфере энергетики себестоимость производимой электроэнергии составит 18 центов за 1 кВт·ч, следовательно, стоимость производства электроэнергии на БелАЭС будет в 1,5-2 раза ниже по сравнению с тепловыми станциями. В результате этого

электрифицированные железные дороги являются гарантированным и постоянным потребителем электрической энергии.

По данным Управления Бел. ж. д. при электрификации железной дороги потребление топливно-энергетических ресурсов снизится на 39%, на 19% повысится весовая норма грузовых поездов, на 24% увеличится техническая и маршрутная скорость движения грузовых и пассажирских поездов [2].

2.4 Электрификация и скоростное движение поездов

Увеличение скорости пассажирских поездов, а также электрификация железнодорожной линии позволят соответствовать участкам Бел. ж. д. мировым стандартам и выдерживать конкуренцию со стороны других видов транспорта. Для реализации максимальных скоростей движения 200 км/ч следует использовать подвижной состав с наклоном кузова, что позволит уменьшить реконструкцию плана трассы, в частности, за счет увеличения радиусов кривых. Такой поезд Москва – Берлин уже сейчас осуществляет поездки по расписанию движения поездов, в том числе 615 км по Бел. ж. д. Во всем мире протяженность железных дорог составляет 954,6 тыс.км, из них 25 процентов электрифицировано. Мировой объем перевозок между тепловозной и электрической тягой примерно одинаков т.е. грузонапряженность при электрической тяге в 3 раза больше, чем при тепловозной.

Наибольший удельный вес электрифицированных железных дорог приходится на страны Западной, Центральной и Восточной Европы – 45,7 процента, страны СНГ 24,3 процента, на страны Юго-Восточной Азии – Японию, Китай, Индию – 20 процентов и 8 процентов на Африку, в основном ЮАР. По системе переменного тока электрифицировано 55 процентов от их общей протяженности, 43 процента – по системе постоянного тока и 2 процента используют другие системы электроснабжения [2].

Лидирующую роль Европы в электрификации железных дорог сыграло пассажирское движение, так как электрическая тяга позволяет реализовывать высокие скорости движения поездов, большие ускорения и благоприятна в экологическом воздействии железных дорог на окружающую среду, особенно в густонаселенной Европе. Около 41 процента общей протяженности сети электрифицированных линий стран СНГ выполняет объем перевозок 71,6 процента. Лидером по протяженности электрифицированных линий является Россия – 70 процентов сети, 15,4 – Украина, 6,3 – Казахстан, 8,5 – другие страны [2]. Электрифицированные железные дороги России 46,8 процента выполняют 78 процентов перевозок, что в 4 раза больше, чем тепловозной тягой..

Электрификация железных дорог способствует увеличению технической и маршрутной скорости движения грузовых и пассажирских поездов, повышению весовых норм перевозки грузов. С переводом железной дороги на электрическую тягу появляется возможность развивать скоростное высокоскоростное движение пассажирских поездов.

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. 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 в мире составляет более 17000 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. В процессе проектирования и строительства находятся ещё 23000 км скоростных дорог [11].

Основной целью работы является повышение скорости поездов, в том числе и на Белорусской железной дороге, что позволит ей соответствовать мировым стандартам и выдерживать конкуренцию со стороны других видов транспорта. Повышение скоростей движения пассажирских поездов на действующих магистралах ставит задачу совмещения грузового и пассажирского движения из-за увеличения съёма грузовых поездов пассажирскими, повышенных требований безопасности движения.

К реконструктивным мероприятиям для введения скоростного движения и электрификации железнодорожной линии, требующим капитальных вложений, относятся: замена кривых малого радиуса на кривые, соответствующие намеченным максимальным скоростям движения пассажирских поездов; вынос из кривых стрелочных переводов,

расположенных на главных путях; замена на главных путях обычных стрелочных переводов на скоростные; расширение или перенос пассажирских платформ; 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.

Территорию Республики Беларусь пересекают два трансъевропейских коридора, определенные по международной классификации под номером 2 (Запад-Восток) и под номером 9 (Север-Юг). Транспортный коридор №9 соединяет Финляндию, Литву, Россию, Беларусь, Украину, Молдову, Румынию, Болгарию и Грецию, пересекает территорию республики с севера на юг и проходит через крупные промышленные центры в Беларуси – Витебск, Могилев, Гомель. 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 Общеввропейский 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, является двухпутным, полностью электрифицированным и оснащенным устройствами автоматической блокировки, электрической и диспетчерской централизацией [13].

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

Транспортные коридоры проходят на 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 железнодорожных узлах.

По мнению зарубежных экспертов, чтобы инвестиции в строительство высокоскоростных магистралей окупились, необходимо иметь в зоне тяготения к ней не менее 20-25 млн. человек. При этом общий пассажиропоток в данном транспортном коридоре должен составлять не менее 10-12 млн. пассажиров в год [13]. Указанные критерии невыполнимы в условиях Беларуси, где проживает около 10 млн. человек. В силу компактности территории, дороговизны строительства высокоскоростных магистралей Республика Беларусь пошла по пути внедрения и развития скоростного пассажирского железнодорожного транспорта путем модернизации действующей железнодорожной инфраструктуры и закупки современных скоростных пассажирских электропоездов.

Правительство Республики Беларусь в апреле 2016 года утвердило Государственную программу развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016 -2020 годы [4].

В настоящее время именно электрификация – один из важнейших инвестиционных проектов Белорусской железной дороги. На данный момент в Беларуси электрифицировано 1130,9 км. Министр транспорта и коммуникаций Беларуси Анатолий Сивак на конференции «Наводя мосты между Европой и Азией» отметил, что «К 2030 году Беларусь завершит электрификацию основных грузонапряженных участков железнодорожных линий, чтобы максимально использовать при перевозках грузов и пассажиров электротягу» [1]. Согласно Государственной программе на электрификацию железнодорожных участков на 2016-2020 годы запланировано потратить из республиканского бюджета 425,0 млрд.руб, а из заемных средств 2350,0 млрд.руб. [4].

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.

Устаревшее на некоторых участках железнодорожное полотно не способно обеспечивать скорость в 160 км/ч и выше; железнодорожные линии часто «петляют», пересекаются с автодорогами и линиями городского пассажирского транспорта в одном уровне; сооружения и устройства, расположенные в непосредственной близости вдоль железнодорожного пути, не шумозащищены; железнодорожные пути в городской черте практически не ограждены.

Указанные факторы не позволяют развивать на Белорусской железной дороге скорость, способствующую доставке пассажиров в кратчайшие

сроки. Поэтому самая большая проблема Белорусской железной дороги – это низкая скорость движения. Максимальная скорость движения скоростных электропоездов по Белорусской железной дороге – 160 км/ч, но развивать ее электропоезда могут только на прямых участках современных модернизированных, хорошо укрепленных магистралей. Скорость движения электропоездов ограничена 60-100 км/ч [12].

Решением проблемы частой извилистости Белорусской железной дороги, могло бы стать использование современного подвижного состава с наклоняемым в повороте кузовами, что позволит проходить на высокой скорости кривые участки магистрали [11]. Однако целесообразность закупки скоростных поездов с наклоняемыми в повороте кузовами должна быть подтверждена соответствующими исследованиями и технико-экономическим обоснованием.

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.

В рамках 9-го Общеευропейского транспортного коридора был реализован инвестиционный проект по электрификации участка железнодорожной линии Молодечно – Гудогай – госграница с Литовской Республикой. В сентябре 2017 года Белорусская железная дорога открыла движение на электровозной тяге по этому участку, электрифицировав 84 км дороги (Молодечно – Гудогай – Кяна). Показав тем самым, что до Вильнюса пассажиры теперь смогут добираться без особых трудностей и в быстрые сроки. В планах у Литовской железной дороги продолжить электрификацию, и уже к 2021 году пустить скоростной маршрут Минск – Клайпеда [2].

У Белорусской железной дороги до 2020 года, как отметил начальник Бел. ж. д. Владимир Морозов: «Электрификация участка Жлобин – Калинковичи – Барбаров» позволит организовать сквозное движение поездов на электротяге в границах 9 Общеевропейского транспортного коридора от Литвы до портов Черного моря через Беларусь [12].

Используя метод формирования оптимальной схемы этапного наращивания мощности железной дороги, обеспечивающий оптимальные параметры реконструкции и этапность усиления линий во времени при минимальных затратах, определим максимальные скорости движения пассажирских поездов на участке существующей магистрали с учетом динамики перевозок во времени. Поставленная задача решается во взаимосвязи грузового и пассажирского движения.

Назначаются технические состояния с учетом вариантов скоростей движения пассажирских поездов, обеспечивающих овладение грузовыми и пассажирскими перевозками на всем расчетном периоде времени. Производятся расчеты пропускной и провозной способности назначенных технических состояний с

вариантными значениями скоростей $V_x = 140, 160, 180$ км/ч при межпоездных интервалах 8 и 10 мин. Сетка «состояния-время для этого расчетного случая показана на рисунке 2.2/

Сроком исчерпания мощности первых трех состояний является 11 год. Состояния 4 – 5 – 6 являются конечными. Далее формируется оптимальная схема этапного наращивания мощности. Критерием оптимальности являются приведенные затраты

$$\mathcal{E}_{\min} = K_0 + \sum_1^{m-1} \frac{k_{ij}}{(1 + E_{\text{нп}})^{t_{ij}}} + \sum_1^m \sum_{t_n}^{t_k} \frac{C_i(t)}{(1 + E_{\text{нп}})^t}, \quad (2.1)$$

где K_0 – начальная строительная стоимость; m – число состояний;

k_{ij} – стоимость переходов;

$C_i(t)$ – ежегодные эксплуатационные расходы;

t_n, t_k – сроки начала и конца эксплуатации технических состояний;

$E_{\text{нп}}$ – норматив для приведения разновременных затрат [5]

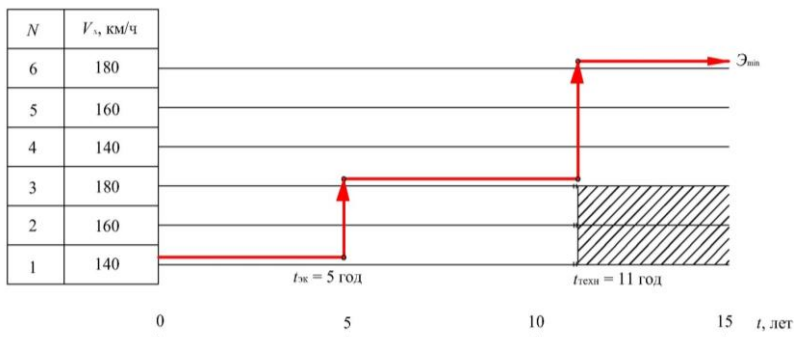


Рисунок 2.2 – Формирование оптимальной схемы этапного наращивания мощности

Стоимости переходов определяются в зависимости от видов и объемов работ по реконструкции линии. Эксплуатационные расходы складываются из расходов по передвижению грузовых и пассажирских поездов ($C_{\text{пер}}^{\text{гр}}, C_{\text{пер}}^{\text{пс}}$), расходов в локомотивный и вагонный парк ($C_{\text{л}}, C_{\text{в}}$), расходов связанных с обгоном грузовых поездов пассажирскими ($C_{\text{об}}$),

расходов по содержанию постоянных устройств железнодорожной линии [5].

Расходы по передвижению поездов рассчитываются по единичным нормам по результатам тяговых расчетов. Расходы в локомотивный и вагонный парк рассчитываются по формулам

$$C_{\text{л}} = \left(\frac{2L_{\text{т}}}{V_{\text{х}}} + T_{\text{д}} \right) \frac{N_{\text{пс}}}{24} \gamma_{\text{л}} \rho_{\text{л}} K_{\text{л}}; \quad (2.2)$$

$$C_{\text{в}} = \left(\frac{2L}{V_{\text{х}}} + T_{\text{об}} \right) \frac{N_{\text{пс}} m}{24} \gamma_{\text{в}} \rho_{\text{в}} K_{\text{в}}, \quad (2.3)$$

где $L_{\text{т}}$ – длина тягового плеча; L – длина участка; $T_{\text{д}}$, $T_{\text{об}}$ – время отстоя подвижного состава; $N_{\text{гр}}$, $N_{\text{пс}}$ – число грузовых и пассажирских поездов; $V_{\text{х}}$ – среднеходовые скорости поездов; $\gamma_{\text{л}}$, $\gamma_{\text{в}}$ – коэффициенты запаса подвижного состава; $\rho_{\text{л}}$, $\rho_{\text{в}}$ – срок окупаемости с учетом реновационных отчислений; $K_{\text{л}}$, $K_{\text{в}}$ – стоимости подвижного состава.

Расходы по обгону грузовых поездов пассажирскими рассчитываются по формуле

$$C_{\text{об}} = 365 t_{\text{об}} C_{\text{пч}}^{\text{гр}} \frac{2LN_{\text{пс}}}{J} \left(\frac{1}{V_{\text{гр}}} - \frac{1}{V_{\text{пс}}} \right), \quad (2.4)$$

где $t_{\text{об}}$ – время простоя грузового поезда, $C_{\text{пч}}^{\text{гр}}$ – стоимость 1 поезда-часа грузового поезда; J – межпоездной интервал.

Расходы на содержание постоянных устройств определяются в соответствии с техническим вооружением линии и скоростями движения поездов.

С использованием указанной методики на сетке «состояние-время» сформированы оптимальные схемы увеличения максимальной скорости движения поездов на Белорусском участке 2 международного транспортного коридора Брест – Барановичи. Значения критериев в узлах выписываются непосредственно на сетку «состояние-время». Эксплуатационные расходы подсчитывались на основании тяговых расчетов. При этом расчеты производились с тремя вариантами стоимости пассажиро-часа $C_{\text{пасс-ч}} = 3,28; 4,92; 6,56$ у.е.

На рисунке 4 показаны оптимальные схемы этапного наращивания максимальной скорости движения на участке с различной стоимостью пассажиро-часа. Так, при $C_{\text{пасс-ч}} = 6,56$ у.е. оптимальная скорость движения пассажирских поездов составила 180 км/ч с самого начала. При $C_{\text{пасс-ч}} = 4,92$

у.е. в течение первых двух лет оптимальная скорость составила 140 км/ч, затем на 3-й год следует увеличить скорость до 160 км/ч при существующем техническом оснащении и на 11 году – переход к новому типу локомотива с подвижным составом оборудованным системой наклона кузова.

а) $C_{\text{пасс-ч}} = 6,56$ у.е.

При $C_{\text{пасс-ч}} = 3,28$ у.е. до 11 года эксплуатации максимальная скорость составила 140 км/ч, затем переход на 160 км/ч.

При ограниченных капитальных вложениях целесообразным является эксплуатация поездов с локомотивом ЧС4т и переходом к максимальной скорости движения 160 км/ч. По оптимистическому сценарию при наличии х капитальных вложений в подвижной состав с наклоном кузова, переход на скорость 180 км/ч на этом участке целесообразен.

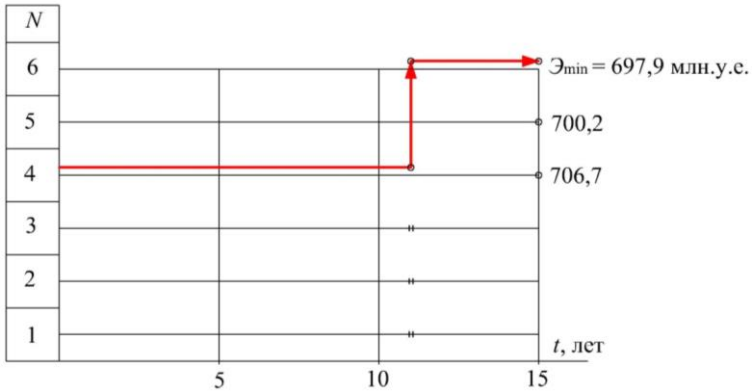
Применение данной методики позволяет выбирать не только максимальные скорости, но и рациональные сроки ее повышения. На участке Брест – Барановичи при соответствующих реконструктивных мероприятиях и закупке новых скоростных поездов, скорость может достигать 180 км/ч (на перспективу – 200 км/ч). Таким образом:

1. Электрификация железных дорог обеспечивает доступность, высокое качество и безопасность услуг транспорта; развитие его инфраструктуры; обновление подвижного состава железнодорожного транспорта; повышение скорости доставки грузов и перевозки пассажиров; увеличение пропускной способности электрифицированных железнодорожных участков по основным направлениям международных перевозок; приобретение подвижного состава нового поколения, обеспечивающего высокие скорости движения пассажирских и грузовых поездов; повышение эффективности функционирования транспортного комплекса.

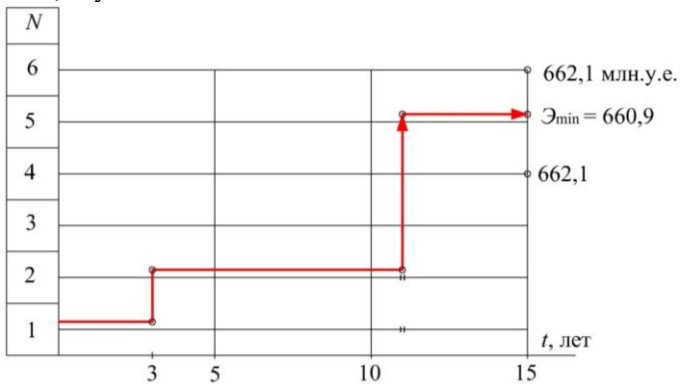
2. Для решения задачи повышения скорости движения пассажирских поездов необходима электрификация железной дороги и для обоснования максимальной скорости движения поездов целесообразно использование методики определения оптимальной скорости движения пассажирских поездов на существующих железнодорожных магистралях с учетом динамики перевозок во времени. Она учитывает необходимое развитие пропускной и провозной способности линий, ее этапность во времени в связи с повышением скоростей движения. Это обусловлено тем, что отечественные железные дороги характеризуются не только большим объемом грузовых и пассажирских перевозок, но и их постоянным ростом во времени. Методика предусматривает взаимную связь грузового и пассажирского движения.

3. Использование подвижного состава с наклоном кузова показывает, что его выгоднее вводить даже в том случае, если он будет стоять в 3-4 раза дороже по сравнению с обычным подвижным составом. С увеличением пассажиропотока эффективность его применения увеличивается. Внедрение скоростного движения с учетом использования вагонов с наклоном кузова на участке Брест – Красное Белорусской железной дороги при различных

технических состояниях дороги, различающихся максимальной скоростью движения поездов дает возможность принимать более обоснованные проектные решения, обеспечить эффективность капиталовложений.



б) $C_{\text{пасс-ч}} = 4,92 \text{ у.е.}$



в) $C_{\text{пасс-ч}} = 3,28 \text{ у.е.}$

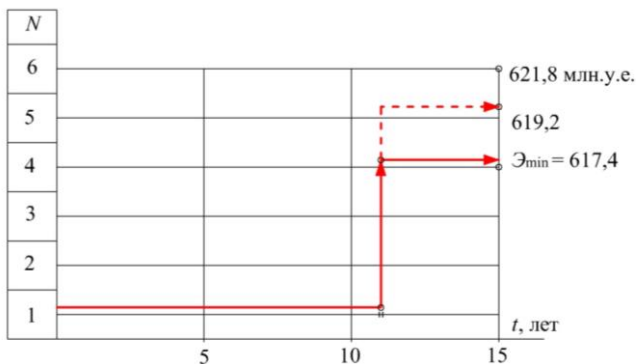


Рисунок 2.34 – Формирование оптимальных схем
**3 СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
 ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

3.1 Внешнее и тяговое электроснабжение

Система энергоснабжения железной дороги включает внешнее и тяговое (тяговые подстанции, контактная сеть и др.) снабжение электроэнергией (рисунок 3.1). Внешнее электроснабжение включает районные электрические станции, трансформаторные подстанции, линии электропередач (ЛЭП). Питание электрифицированных железных дорог идет от тепловых, гидро- и атомных станций. Наиболее эффективной является гидроэлектростанция (ГЭС). Ее КПД составляет 67–88 %.

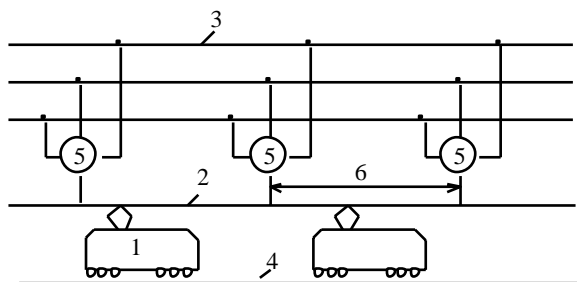


Рисунок 3.1 – Схема электроснабжения
 электрифицированных железных дорог:
 1 – локомотив; 2 – контактная сеть; 3 – ЛЭП; 4 – обратный провод
 (рельс); 5-тяговая подстанция; 6 – фидерная зона (расстояние между
 подстанциями)

Электростанции вырабатывают трехфазный ток промышленной частоты 50 Гц. С электростанции энергия подается на повышающий трансформатор и далее по ЛЭП к потребителям. На электрифицированных железных дорогах используются два вида тока: постоянный и переменный однофазный промышленной частоты. При системе постоянного тока на подвижном составе применяются тяговые электродвигатели постоянного тока, получающие питание прямо из контактной сети. Напряжение в сети контактного провода 3 кВ. При системе переменного тока промышленной частоты 50 Гц на тяговых подстанциях осуществляется понижение тока до 25 кВ или 2×25 кВ. Преобразование тока (в постоянный) осуществляется непосредственно на электровозе.⁸

Система переменного тока является перспективной и применяется, как правило, в настоящее время для электрификации железных дорог. Она имеет следующие преимущества: снижаются потери энергии из-за высокого напряжения в контактной сети; малое сечение проводов, что экономит расход цветных металлов; простота конструкции тяговых подстанций; увеличение расстояния между ними до 70 км; высокий КПД. Недостатки: сложность конструкции электровоза; снижение мощности системы из-за асимметрии в нагрузке фаз электростанций; увеличение габаритов мостов и тоннелей; индуктивное влияние на линии связи.

К устройствам тягового электроснабжения относятся: тяговые подстанции и контактная сеть. К тяговым подстанциям подходит энергия от энергосистемы, преобразуется к виду, удобному для передачи по контактной сети и потребления подвижным составом. Тяговые подстанции распределяют преобразованную электроэнергию по фидерным зонам.

Схема тягового электроснабжения приведена на рисунке 3.2.

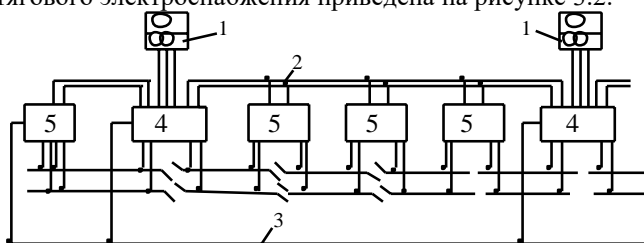


Рисунок 3.2 – Схема тягового электроснабжения:

- 1 – повышающая подстанция; 2 – контактная сеть; 3 – рельс;
- 4 – опорные тяговые подстанции; 5 – промежуточные тяговые подстанции

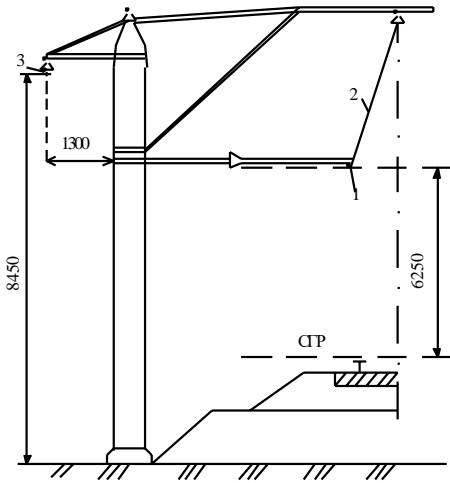


Рисунок 3.3 – Контактная сеть на перегоне:
1 – контактный провод; 2 – несущий трос; 3 –
усиливающий провод

Через опорные тяговые подстанции проходит ЛЭП, питающая промежуточные тяговые подстанции. Каждая фидерная зона питается от двух подстанций; отсасывающие линии идут от подстанции к рельсам.

Контактная сеть подвешивается на железобетонных или металлических опорах; натяжение проводов осуществляется на анкерных опорах с помощью грузов-компенсаторов (рисунок 3.3).

Контактная сеть для систем постоянного и переменного тока устроена

одинаково, за исключением изоляции и сечения проводов. Контактный провод, по которому скользит токоприемник электровоза, подвешен на консоли железобетонной опоры при помощи цепной подвески над рельсовым путем. Наибольший пролет между опорами контактной сети принимается 70–80 м. Расстояние от оси крайнего пути до опоры установлено с соблюдением габарита приближения строений. Опоры в выемках устанавливаются вне кюветов. Подвеска контактной сети показана на рисунке 3.4.

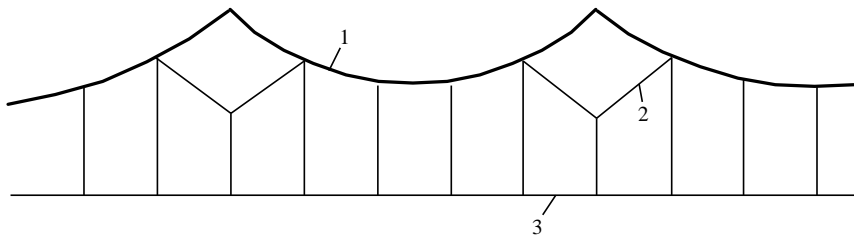


Рисунок 3.4 – Подвеска контактной сети:
1 – несущий трос; 2 – рессора на опоре; 3 – контактный провод

Подробнее об опорах контактной сети и тяговых подстанциях см. в литературе [8].

3.2 Основы проектирования системы энергоснабжения

В процессе проектирования системы энергоснабжения обосновываются ее основные параметры: питание энергосистемы, расстояние между подстанциями, их месторасположение, мощность подстанций, сечение проводов контактной сети, схема питания и защита от токов короткого замыкания.

Тяговые подстанции желательно располагать вблизи отдельных пунктов для уменьшения затрат на строительство подъездного пути, водопровода, условий обслуживания работающего персонала. Основным показателем, характеризующим условия работы системы электроснабжения, является годовое потребление электроэнергии на 1 км. Оно зависит от грузонапряженности и сложности профиля электрифицируемого участка.8

Расход электроэнергии на один поезд в одном направлении определяется тяговыми расчетами:

$$A_B = U_{\text{кв}} \sum_1^S J_t \Delta t K_d K_z, \quad (3.1)$$

где $U_{\text{кв}}$ – напряжение в контактной сети, В;

S – число интервалов Δt ;

J_t – средний ток поезда в интервале времени Δt , А;

K_d – коэффициент, учитывающий расход электроэнергии на собственные нужды, $K_d = 1,02$;

K_z – коэффициент, учитывающий дополнительный расход энергии зимой, $K_z = 1,1$.- $1,2$.

Удельный расход электроэнергии на 1 т км брутто

$$a = A_{\text{п}} / (QL), \quad (3.2)$$

где Q – масса поезда;

L – длина линии.

Если нет данных тяговых расчетов, то принимается: при постоянном токе $a = 4(\omega_{\text{ср}} + i_s)$, при переменном – $a = 3,8(\omega_{\text{ср}} + i_s)$. Значения среднего удельного сопротивления $\omega_{\text{ср}}$ и эквивалентного подъема i_s принимаются в зависимости от ходовой скорости и руководящего подъема.8

Годовое потребление электроэнергии

$$A = \Gamma_{\text{бр}} a \cdot 10^{-3}, \quad (3.3)$$

где $\Gamma_{\text{бр}}$ – грузопоток брутто, млн т/год.

Средняя потеря мощности по фидерной зоне длиной l_f при постоянном токе

$$\Delta P = i_o^2 r_o l_o^3 K_{cx} / (12 \cdot 10^3), \quad (3.4)$$

где i_o – удельная нагрузка, А/км,

$$i_o = A \cdot 10^3 / (8760 U_{kc}); \quad (3.5)$$

где 8760 – число часов в году;

r_o – удельное сопротивление 1 км тяговой сети, Ом/км;

K_{cx} – коэффициент, учитывающий схему питания тяговой сети.

При одностороннем питании

$$K_{cx} = 4(1 + (1,65\alpha - 1)/n) \quad (3.6)$$

двухстороннем –

$$K_{cx} = 1 + (2,2\alpha - 1)/n \quad (3.7)$$

узловом –

$$K_{cx} = 0,375 (1 + (4,4\alpha - 1) / n) \quad (3.8)$$

где α – отношение времени хода поезда по фидерной зоне ко времени хода под током;

n – среднее число поездов в пределах фидерной зоны.

Потеря энергии

$$\Delta A = \Delta P T, \quad (3.9)$$

где T – рассматриваемый период времени (сутки, месяц, год).

При переменном токе электровоз потребляет как активную, так и реактивную мощность. Соотношение между полной и активной мощностями выражается коэффициентом мощности

$$K_M = v \cos \varphi, \quad (3.10)$$

где v – коэффициент искажения формы кривой;

φ – угол сдвига между током и напряжением.

Поэтому i_o при переменном токе в K_M раз меньше, чем при постоянном, и составляет $K_M = 0,77$.

На выбор экономного расстояния $l_{ЭК}$ между тяговыми подстанциями и сечения проводов контактной сети $S_{ЭК}$ оказывают влияния следующие факторы: размеры перевозок на перспективу, число главных путей, вид

тяги, руководящий уклон, система питания, среднее удельное энергопотребление и другие факторы. На основе многочисленных расчетов с учетом факторов, указанных выше, и практики проектирования разработаны номограммы для определения $l_{эк}$ и $S_{эк}$.

Сравнение вариантов систем энергоснабжения выполняется по суммарным дисконтированным затратам. Капитальные вложения включают стоимость тяговых подстанций $K_{пт}$ (с учетом стоимости подъездного пути, водоснабжения и других сопутствующих работ), контактной сети $K_{кс}$ (зависящую от сечения проводов, числа и типов опор), других дополнительных устройств K_d , линий электропередачи $K_{лин}$, жилого фонда $K_{ж}$.

Суммарные капитальные вложения

$$K = K_{пт} + K_{кс} + K_d + K_{лин} + K_{ж} \quad (3.11)$$

Эксплуатационные расходы включают: расходы на содержание тяговых подстанций $C_{пт}$, стоимость электроэнергии, теряемой в контактной сети $C_э$, амортизационные отчисления от капитальных затрат $C_з$, расходы по содержанию контактной сети $C_{кс}$.

Суммарные эксплуатационные расходы

$$C = C_{пт} + C_э + C_з + C_{кс} \quad (3.12)$$

Сравнение вариантов осуществляется по суммарным дисконтированным затратам по методике, приведенной в учебнике [8].

.3.3 Конструкция контактной сети

Питание электрической энергией электровозов и моторных вагонов электропоездов осуществляется посредством непрерывного контакта линейного токоведущего органа – контактного провода – с токоприемником, находящимся на экипаже. Контактный провод, подвешиваемый над рельсовым путем, занимает устойчивое положение по высоте и в плане, а также обеспечивает плотность и эластичность контакта с движущимся токоприемником. Применяются различные системы так называемых цепных подвесок. Их основой является несущий трос, к которому с помощью струн подвешивается контактный провод. В плане его положение закрепляется фиксаторами. Для компенсации температурных изменений длины проводов применяются натяжные устройства грузового типа, которые размещаются по концам так называемых анкерных участков протяженностью до 1200 – 1600 м.

Работы по устройству цепной подвески относятся к электромонтажным. Им предшествуют специфические строительномонтажные работы: установка опор контактной сети и их обустройство.

Опоры, располагаемые за пределами габарита приближения строений, удерживают цепную подвеску либо на консолях, либо на поперечинах, перекрывающих все пространство над путями. Консоли делают однопутными или двухпутными. При перекрытии трех и более путей применяются сварные металлоконструкции (ригели), укладываемые концами на две стойки. Поперечины такого рода жесткие, а П-образные опоры – ригельные. При числе перекрываемых путей восемь и более цепная подвеска монтируется на гибких поперечинах, представляющих собой систему поперечных тросов, закрепляемых на опорах. Опорные конструкции контактной подвески отделяются от частей, находящихся под напряжением, электрическими изоляторами. Контактная подвеска КС-160 разработана в пяти базовых модификациях для постоянного и переменного тока с различным исполнением поддерживающих конструкций (с изолированными и неизолированными консолями наклонной или горизонтальной конструкции). Применяется при реконструкции устройств электроснабжения на сети железных дорог России с целью повышения скоростей движения и весовых норм поездов, а также снижения затрат на обслуживание. В контактной сети КС-160 применены медные или низколегированные контактные провода сечением 100 мм^2 с натяжением $10 - 12 \text{ кН}$. Токопроводящая арматура выполнена из алюминиевой бронзы БрАЖ9-4 методом горячей штамповки. Все металлические конструкции имеют защитное цинковое покрытие, обеспечивающее срок службы не менее 50 лет. Изделия и узлы КС-160 обладают повышенной надежностью и рассчитаны на работу в широком диапазоне климатических условий. Контактные подвески КС-200 и КС-250 применены при реконструкции линий Санкт-Петербург – Москва и Санкт-Петербург – Буловская для реализации скоростей движения $200 - 250 \text{ км/ч}$. Используются бронзовые контактные провода сечением 120 мм^2 с повышенным натяжением $16,5 \text{ кН} - 20 \text{ кН}$, фиксаторы из алюминиевых сплавов. Консоли изолированные горизонтальные и фиксаторы из алюминиевых сплавов наиболее перспективные конструкции для применения в контактной сети по проектам КС-200 и КС-250. Достигается снижение массы конструкций до двух раз, высокая коррозионная стойкость и долговечность. Наибольшее применение находят железобетонные опоры, которые бывают нераздельными с фундаментом и раздельными.

В качестве фундаментов раздельных опор используются унифицированные железобетонные блоки. В верхней части блок имеет утолщение со стаканом для размещения опоры, нижняя выполнена в виде сваи двутаврового или трехлучевого профиля. Блоки заглубляются в грунт с помощью вибропогружателей или устанавливаются в заранее открытые котлованы. Для высоких стальных опор, которые используются при гибких поперечинах, фундаменты устраиваются из четырех – шести свай, объединяемых вверху плитой-ростверком, либо из железобетонных блоков с анкерными болтами, устанавливаемых в котлованы. Редко железные

дороги сразу строятся электрифицированными. При этом опоры обычно устанавливаются вслед за укладкой пути, который используются в качестве транспортной коммуникации для прохода машин на рельсовом ходу и подвоза монтажных элементов на железнодорожном подвижном составе. Электрификация предпринимается как мера повышения провозной способности уже существующих линий, и строительно-монтажные работы выполняются в «окна» между поездами продолжительностью 3 – 4 ч. Этим объясняются высокие требования к темпу выполнения работ и характеристикам применяемой техники. В условиях интенсивного движения поездов вместо монтажа с пути там, где это возможно, применяется способ сооружения контактной сети с поля.

Габариты положения опор и высота подвески проводов. Работниками дистанции электроснабжения периодически должны измеряться расстояния от оси пути до грани опор, высота подвеса проводов контактной сети и воздушных линий, ими должен проводиться контроль за соблюдением габаритов подвижного состава.

Габарит приближения строения С (контур 1) – предельное поперечное (перпендикулярное к оси пути) очертание, внутрь которого не должны заходить части сооружений и устройств. Исключение составляют контактные провода с деталями крепления и фиксирующими устройствами.

Габарит подвижного состава Т (контур 2) – это предельное поперечное, перпендикулярное к оси пути очертание, в котором, не выходя наружу, должен помещаться как груженный, так и порожний подвижной состав, установленный на прямом горизонтальном пути.

Габарит погрузки груза (контур 3) — предельное поперечное очертание груза, погруженного на открытый подвижной состав.

Перевозимые подвижным составом грузы могут иметь в вертикальной плоскости боковую (зона 4) и верхнюю (зона 5) негабаритность. Грузы, выходящие за пределы очертаний зон или имеющие высоту более 5300 мм, относятся к сверхнегабаритным. При пропуске негабаритных грузов необходимо следить за состоянием контактной подвески. Высоту подвески проводов воздушных линий измеряют при максимальной стреле провеса: в пролете – от нижней точки провода до земли; при пересечении с автомобильной дорогой – до поверхности ее проезжей части; при пересечении с железной дорогой – до уровня головки рельса.

Габариты положения опор и высота подвески проводов отображены на рисунке 3.5.

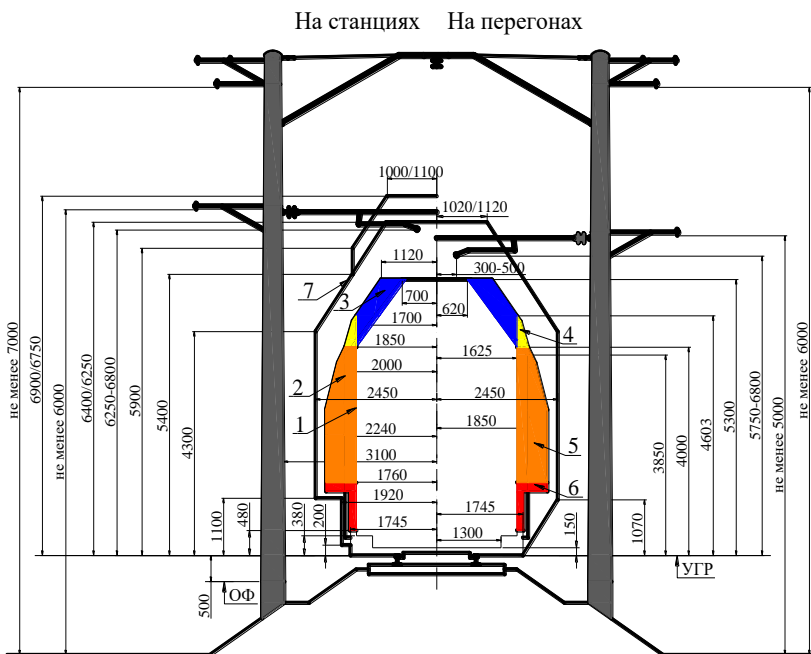


Рисунок 3.5 – Габариты положения опор и высота подвески проводов: 1 – габарит погрузки груза; 2 – габарит подвижного состава Т; 3 – зона верхней негабаритности; 4 – зона совместной верхней и боковой негабаритности; 5 – зона боковой негабаритности; 6 – зона нижней негабаритности; 7 – габарит приближения строений С; УГР – уровень головки рельса; ОФ – обрез фундамента.

На прямом участке пути измеряют расстояние Γ от оси пути до внутреннего края опоры или грани фундамента. Измерения выполняют неметаллической рулеткой длиной до 10 м или шаблоном. Рекомендуется измерять это расстояние от внутренней грани головки крайнего рельса до внутреннего края опоры (фундамента), начиная с деления на рулетке 760 мм. Опоры, фундаменты и оттяжки, расположенные в местах погрузки-выгрузки грузов и вблизи автомобильной дороги, имеют защитные ограждения. Проверка положения опор и габаритных ворот на переезде. Опоры контактной сети или фундаменты оттяжек, установленные с двух сторон от железнодорожного переезда, находятся на расстоянии, обеспечивающем предотвращение случайного механического повреждения их транспортным средством. Это расстояние по ходу поезда от края переезда до опор или фундаментов оттяжек, установленных вдоль главных путей на перегоне или станции, не менее 25 м. Расположение опор возле

переезда на перегоне приведено на рисунке 3.6.

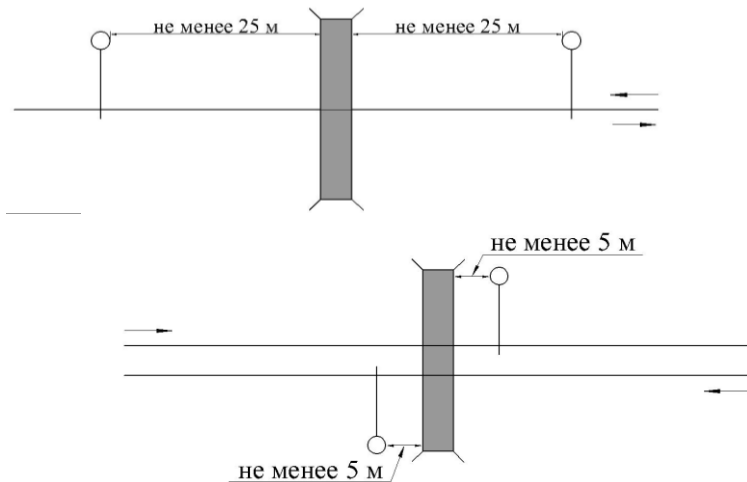


Рисунок 3.6 – Расположение опор возле переезда на перегонах

Во всех остальных случаях (при расположении опор у второстепенных путей и воздушных стрелок на станциях; в направлении, противоположном ходу поезда; на существующих линиях) это расстояние не менее 5 м.

Расположение опор возле переезда на станции приведено на рисунке 3.7.

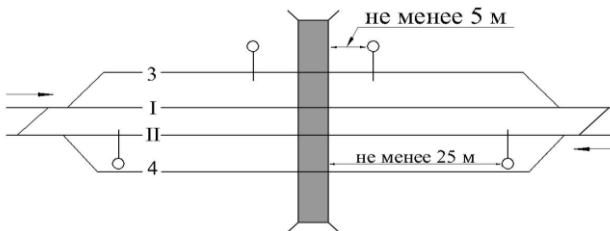


Рисунок 3.7 – Расположение опор возле переезда на станции

Указанные расстояния измеряют неметаллической рулеткой от края опоры или фундамента оттяжки вдоль оси пути до края переезда (проезжей части дороги). Габаритные ворота на переездах через электрифицированные линии осматривают и проверяют высоту от нижней грани ограничительной планки до поверхности проезжей части дороги; при этом обращают внимание на состояние опор и расположение ограничительной планки

3.4 Железобетонные стойки для опор контактной сети

Область применения. Стойки предназначены для применения в качестве стоек консольных опор и опор жестких поперечин контактной сети на участках постоянного и переменного тока при электрификации новых и реконструкции действующих электрифицированных магистральных железных дорог в I – VII районах по нормативному ветровому давлению и I – V районах по толщине стенки гололеда согласно районированию по СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия». Стойки – железобетонные предварительно напряженные конические кольцевого сечения, изготовленные из тяжелого бетона методом центрифугирования и предназначенные для опор контактной сети, сооружаемых на общей сети железных дорог и на железнодорожных подъездных путях предприятий в любых климатических условиях. Стойки применяются при электрификации объектов промышленного транспорта в качестве опор продольного электроснабжения и ЛЭП.

В зависимости от температуры наружного воздуха, которая определяется в соответствии с указаниями главы СНиП 2.01.01 – 82 «Строительная климатология и геофизика», опоры эксплуатируются в районах с расчетной зимней температурой наиболее холодной пятидневки до – 40°С и ниже, до – 70°С, в обычных инженерно-геологических условиях с расчетным давлением на грунт не менее 0,1 МПа, в пучинистых грунтах районов вечной мерзлоты и глубокого сезонного таяния при неагрессивной, слабо- и среднеагрессивной газовой среде, Допускается применение стоек для эксплуатации в местах воздействия сильноагрессивных газовых сред при условии выполнения требований СНиП 2.03.11 – 85, которые указываются в заказе на изготовление стоек.

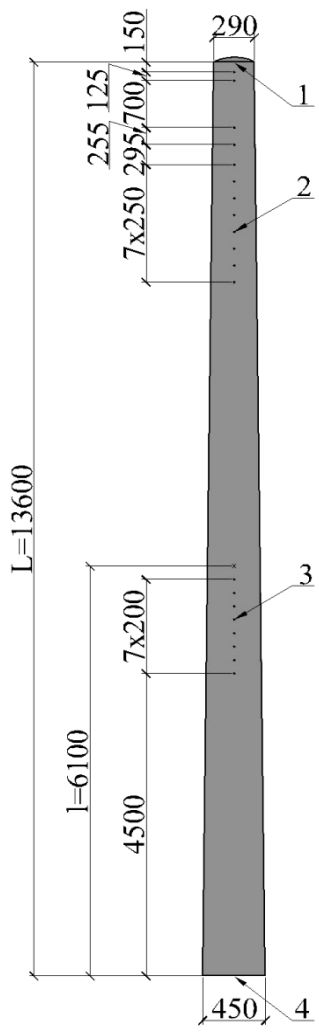
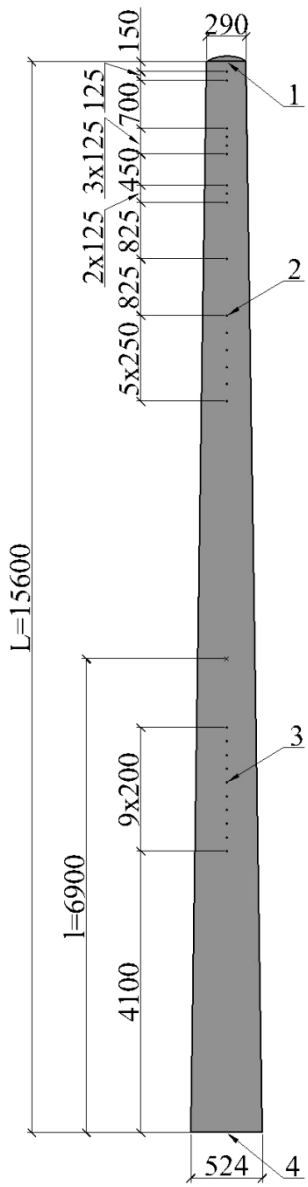
Стойки со смешанным армированием предназначены для замены центрифугированных предварительно напряженных железобетонных стоек по серии 3.501.1-160 «Опоры консольные железобетонной контактной сети электрифицированных железных дорог». В отличие от типовых новые стойки обеспечивают заданный уровень надежности на напряжение, отличаются повышенной надежностью при особых воздействиях (ударах грузов, взрывах, вибрациях и электрокоррозии), расчетный срок службы стоек повышается до 70 лет вместо 45 лет.. Конструктивные решения. Опоры промежуточные запроектированы с высотой надземной части от условного обреза фундамента равной 9,6 м при длине стоек 10,8м и 11,6м-при длине стоек 13,6м. 11,6 м. – при длине стоек 15,6 м. *Опоры со* стойками длиной 13,6 м и 15,6 м устанавливаются в заранее от- рытые или пробуренные котлованы и именуется нераздельными. Стойки длиной 10,8 м устанавливаются в стаканые фундаменты и опоры именуется раздельными. При необходимости стаканые фундаменты, могут устанавливаться стойки длиной 13,6 м.

Стойки представляют собой полые бесстыковые трубы из предварительно напряженного железобетона с армированием высокопрочной проволокой. Дополнительно стойки армированы ненапрягаемой арматурой. В качестве поперечного армирования принята спираль из обыкновенной арматурной проволоки периодического профиля диаметром 3 мм. Привязка спирали к напрягаемой арматуре производится в верхней и нижней частях стойки не реже, чем через два пучка напрягаемой арматуры, а также в местах установки монтажных колец, в каждом третьем пересечении с напрягаемой арматурой. Монтажные кольца привязываются по трём точкам плоскости к струнам напрягаемой арматуры или к стержням ненапрягаемой арматуры. Толщина стенки стоек принята **постоянной по всей** длине и зависит от несущей способности стоек.

Диаметр всех стоек в вершине равен 290 мм, сбег (коничность) 1,5%. Для восприятия усилий от анкеровки проводов контактной подвески из промежуточных опор, укрепленных оттяжками вдоль пути, образуются анкерные опоры. Крепление консолей и кронштейнов на стойках – болтовое к закладным изделиям. Для установки болтов в стойках предусмотрены цилиндрические сквозные отверстия с обязательной установкой в них изолирующих втулок из полиэтилена. Во всех стойках предусмотрено одностороннее расположение вентиляционных отверстий диаметром 35 мм в соответствии с изобретением по авторскому свидетельству № 656251 «Опора». В местах расположения отверстий вентиляционных и под закладные изделия толщина защитного слоя бетона – не менее 20 мм. Толщину защитного слоя бетона контролируют при помощи магнитных приборов типа ИЗС-10Н по ГОСТ 22904-78.

Для измерения электрического сопротивления стоек предусматривается укладка внутри стоек провода диагностики с одним выводом на боковую поверхность на расстоянии от низа стойки 3,2 м для стоек длиной 10,8 м и 6,2 м – для стоек 13,6 м и 15,6 м, а также выпуск одной проволоки рабочей арматуры. Крепление провода диагностики предусматривается к двум монтажным кольцам вязальной проволокой.

Стойки и их основные размены показаны на рисунке 3.8.



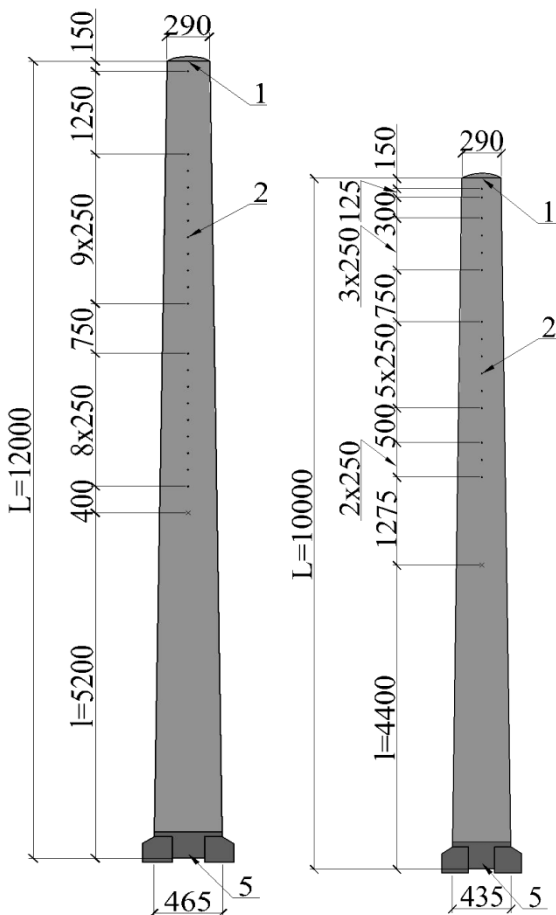


Рисунок 3.8 – Стойки и их основные размеры: 1 – верхняя заглушка; 2 – отверстия для установки закладных деталей, крепления консолей и кронштейнов; 3 – отверстия для вентиляции; 4 – нижняя заглушка; 5 – опорный башмак для крепления стойки к фундаменту анкерными болтами.

Величины электрического сопротивления стоек для контактной сети постоянного тока при сухой поверхности бетона, изолирующих элементов деталей для крепления консолей и кронштейнов определяют мегомметром М 1101 напряжением 1000 В или другим прибором аналогичного назначения, замеренное на заводе «Железобетонных конструкций» электрическое сопротивление стойки указывается в паспорте.

Заземление опор для участков переменного тока производится в соответствии с техническим указанием ЦЭ МПС от 20.09.89 «О порядке заземлении и изоляции».

Основные параметры и размеры. Стойки изготавливаются согласно ГОСТ 19330 – 99. Допускается по согласованию между заказчиком и изготовителем изготавливать стойки, отличающиеся габаритными размерами и размерами отдельных деталей стоек от приведенных в настоящем стандарте, при соблюдении остальных технических требований этого стандарта.

Стойки обозначаются марками в соответствии с требованиями ГОСТ 23009. Маркировка стоек состоит из буквенно-цифровых групп, разделенных тире. Первая группа содержит буквенное обозначение типа стойки и номинальные габаритные размеры – длину в дециметрах и толщину стенки в сантиметрах, значения которых округляются до целого числа. Во второй группе приводится порядковый номер стойки в зависимости от ее несущей способности - нормативного изгибающего момента и порядковый номер класса продольной напрягаемой арматуры. В третьей группе при необходимости отражают буквенными обозначениями дополнительные характеристики условий эксплуатации стоек.

Стойки подразделяют на типы: СС – с напрягаемой проволочной арматурой, устанавливаемые в фундаменты стаканного типа или закапываемые непосредственно в грунт (нераздельные); ССА – с напрягаемой проволочной арматурой, с болтовым креплением к фундаменту (раздельные).

Порядковый номер несущей способности стойки – нормативного изгибающего момента: 2 – 59 кН*м; 3 – 79 кН*м; 4 – 98 кН*м; 5 – 111 кН*м.

Порядковый номер класса напрягаемой арматуры:

- 1 – высокопрочная проволока класса Вр1400 – 1;
- 2 – стержневая арматура класса А – IV;
- 3 – стержневая арматура класса А – V;
- 4 – стержневая арматура класса А500С.

Дополнительные характеристики условий эксплуатации от воздействия:

К – агрессивной среды; М – температуры наружного воздуха ниже – 40°С; Э – повышенной электрокоррозионной опасности на постоянном токе.

Форма и основные размеры стоек указаны в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Форма и основные размеры стоек

Наименование	Длина L, мм	Диаметр d ₁ , мм	Диаметр d ₂ , мм	Толщина стенки, t, мм	Высота центра тяжести, h _ц , мм
СС 108.6 - 2.1	10800	290	450	60	5000
СС 108.7 - 4.1	10800	290	450	75	5000
СС 136.6 - 2.1	13600	290	492	60	5800
СС 136.7 - 4.1	13600	290	492	75	5800
СС 156.6 - 5.1	15600	290	524	60	7100
СС 156.7 - 8.1	15600	290	524	75	7100
ССА 100.6 - 2.1	10000	290	435	60	4600
ССА 100.7 - 4.1	10000	290	435	75	4600
ССА 120.6 - 2.1	12000	290	465	60	5400
ССА 120.7 - 4.1	12000	290	465	75	5400

Примечания: d₁ – диаметр верхней части стойки, d₂ – нижней части стойки; размер L может изменяться в зависимости от конструкции заглушек; стойки изготавливаются с учётом дополнительных требований по условиям эксплуатации.

Технические требования. Стойки должны удовлетворять требованиям по прочности, жёсткости и трещиностойкости, установленным в рабочей документации.

При монтаже стоек в холодный период года, нормируемая отпускная прочность бетона – не менее 90 % прочности бетона на сжатие, соответствующей его классу. Холодный период года определяется в соответствии с ГОСТ 13015. Фактическая прочность бетона (в проектном возрасте, передаточная, отпускная) – не ниже требуемой, назначаемой в зависимости от нормируемой прочности и фактической однородности бетона по прочности в соответствии с требованиями ГОСТ 18105.

Поставка стоек с отпускной прочностью бетона ниже прочности, соответствующей его классу, производится при условии, если изготовитель гарантирует достижение бетоном требуемой прочности в возрасте 28 суток, определяемой по результатам испытаний контрольных образцов, изготовленных из бетонной смеси рабочего состава.

Морозостойкость бетона соответствует марке, установленной в рабочей документации в зависимости от климатических условий района строительства и указанной в заказе на изготовление стоек. Для районов с расчетной температурой наружного воздуха – 40°С и выше марка по морозостойкости бетона стоек не менее **F150**, а для районов с расчетной температурой воздуха ниже – **40 °С** – не менее **F200**. Бетон стоек

соответствует марке по водонепроницаемости W8 – особо низкой проницаемости.

Для армирования стоек применяется арматурная сталь:

– в качестве напрягаемой арматуры используется высокопрочная проволока периодического профиля класса Вр-II по ГОСТ 7348;

– в качестве напрягаемой арматуры применяется горячекатаная арматурная сталь класса А-IV марки 20ХГ2Ц, а при изготовлении стоек, предназначенных для использования только на участках контактной сети переменного тока, класса А-V марки 23Х2Г2Т по ГОСТ 5781:

– в качестве продольной ненапрягаемой стержневой арматуры используется сталь класса А-III марки 25Г2С или 35ГС по ГОСТ 5781;

– в качестве поперечной арматуры – проволока класса Вр-I по ГОСТ 6727 и стержневая горячекатаная сталь классов А-I марки СтЗсп и А- III по ГОСТ 5781.

Стойки типа СС для использования на участках контактной сети постоянного тока изготавливаются с установленным диагностическим проводником металлическим стрежнем, предназначенным для присоединения аппаратуры диагностики состояния подземной части стоек в процессе их эксплуатации. Диагностический проводник устанавливается в нижней части стоек в зоне вентиляционных отверстий, на стойках длиной 13,6 м и 15,6 м устанавливается и репер – металлический стержень, выступающий за внешнюю поверхность стойки, обозначающий положение условного среза фундамента. Допускается совмещение репера и диагностического проводника. На все стойки также наносятся риски, определяющие положение их центра тяжести.

Диагностический проводник и репер выполняются из арматурной стали класса А-I. Форма и размеры арматурных изделий и их положение в стойках должны соответствовать указанным в рабочих чертежах

3.5 Монтаж цепной подвески

Работы начинаются армированием опор – монтажом консолей, гибких поперечин, анкерочных устройств и другой арматуры. При этом используются монтажные машины с шарнирной или шарнирно-телескопической стрелой, работающие «с пути» (когда их устанавливают на платформах) или «с поля» (когда применяются машины на автомобильном шасси). Цепная подвеска собирается в процессе раскатки с барабанов несущего троса и контактного провода. При монтаже понизу несущий трос и контактный провод заблаговременно раскатывают по обочине.

При монтаже понизу соединение проводов струнами и предварительная вытяжка ведется при временном закреплении несущего троса к опорам на высоте, удобной для выполнения работ. Собранный

цепная подвеска поднимается полиспастами под пяту консоли, когда она готова на протяжении всего анкерного участка, её поднимают на консоль. Монтаж понизу отличается значительным объемом ручных работ, но зато требует сравнительно небольшой продолжительности «окон» и целесообразен на участках с интенсивным движением поездов.

При монтаже поверху одновременно выполняется раскатка проводов и их навеска на консоли. Вместе с раскаточной платформой в монтажном поезде перемещается подъемная вышка со стрелой, ролик которой удерживает провод на требуемой высоте. Такими вышками оборудуются дрезины или вагоны. При раздельном способе монтажа поверху сначала подвешивается несущий трос, затем струны к нему и контактный провод. При комплексном выполнении работ в поезде находятся две раскаточные платформы: одна с несущим тросом, который поднимают на консоли с вышки дрезины, вторая – с контактным проводом, который подвешивают к струнам с вышки монтажного вагона на ходу поезда. Монтаж поверху отличается высокой производительностью, меньшим объемом ручных работ, но сопряжен с занятием перегона и требует необходимого числа «окон» в графике движения поездов.

Общий вид контактной подвески приведен на рисунке 3.9.

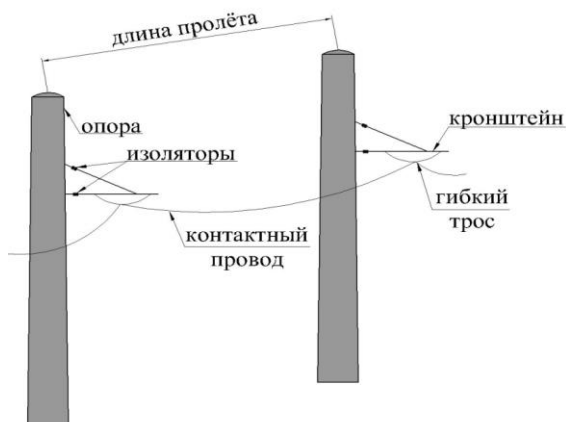


Рисунок 3.9 – Общий вид контактной подвески

Цепную подвеску до постановки под напряжение подвергают регулировкам, обеспечивающим проектное положение контактного провода с учетом вытяжки и изменения провеса некомпенсируемых проводов, при этом монтируются фиксаторы. Работы ведутся отдельной бригадой с подвижных монтажных вышек. Поскольку контактный провод фиксируется в проектное положение относительно пути, то и сам путь до регулировок цепной подвески приводится в состояние, полностью соответствующее

требованиям проекта.

Контактная подвеска и ее основные геометрические параметры, а также расположение проводов в плане показаны на рисунке 3.10.

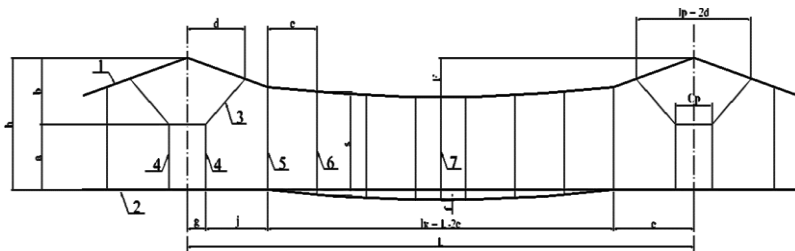
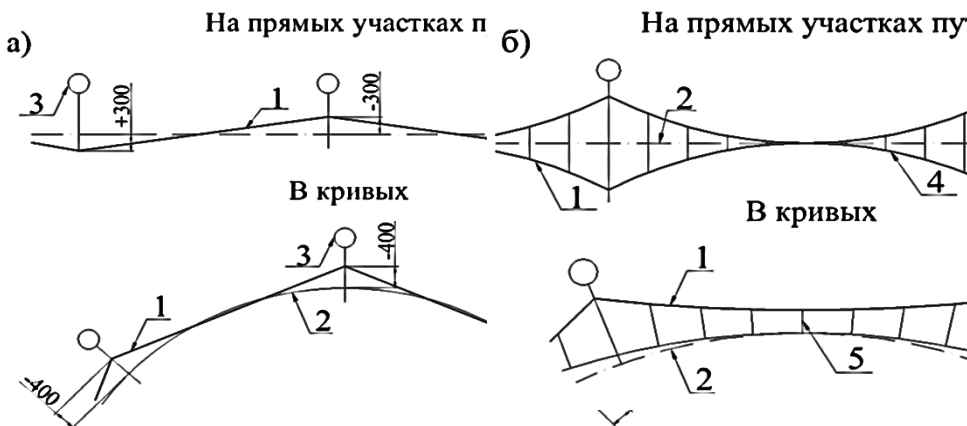


Рисунок 3.10 – Контактная подвеска и ее основные геометрические параметры: 1 - несущий трос; 2 – контактный провод; 3 – рессорный трос; 4 – рессорная струна; 5 – первая от опоры простая струна; 6 – струна; 7 – консоль; а – расстояние от контактного провода до рессорного троса; б – расстояние от точки подвеса до рессорного провода; с – струновой пролёт; d – половина длины рессорного троса; e – расстояние от опоры до первой струны; f – стрела провеса контактного провода; g – расстояние от опоры до рессорной струны; h – конструктивная высота; j – расстояние от рессорной до простой струны; l_k – длина части пролёта, в которой контактный провод имеет провес; l_p – длина рессорного троса; s – длина струны; C_p – расстояние между рессорными струнами; F – стрела провеса несущего троса; L – длина пролёта.

Расположение проводов контактной подвески в плане показано на рисунке 3.11.



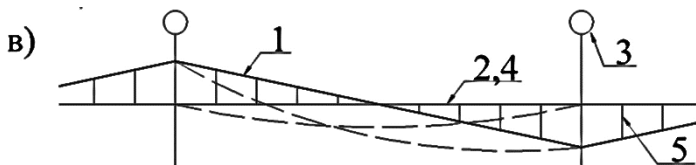


Рисунок 3.11 – Расположение проводов контактной подвески в плане: а – вертикальная подвеска; б – косая подвеска; в – полукосая подвеска; 1 – контактный провод; 2 – ось токоприёмника; 3 – опора контактной сети; 4 – несущий трос; 5 – струна.

4 ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ВИДА ТЯГИ

4.1 Определение срока электрификации по графику овладения перспективными перевозками

Железные дороги проектируются либо под тепловозную, либо под электрическую тягу. Основные показатели тепловозной и электрической тяги приведены в таблице 4.1.

Т а б л и ц а 4.1 – Показатели сравнения тепловозной и электрической тяги

Тип локомотива	v_p , км/ч	F_k , Н	Q_T , т	G_v , млн т/год
ВЛ80	46,7	482000	4300	24,2
ТЭ10	23,4	540000	4900	17,1

Познакомиться с построением графика овладения перевозками и его свойствами можно в литературе 8. Переход к электрической тяге может происходить не только в технический срок перехода по графику овладения перевозками, но и в экономически рациональный срок, который может наступить раньше технического срока (рисунок 4.1).

Год перехода к электрической тяге определяется на основе графиков овладения перевозками (рисунок 4.2) в следующей последовательности:

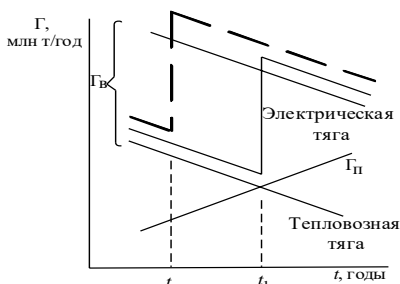


Рисунок 4.1 – Технический (t_1) и экономически

1 Задаются несколькими годами перехода к электрической тяге $t_{эл} = 0; 4; 8; 12$ лет.

2 Схемы, соответствующие этим годам, показываются на графике овладения перевозками.

3 По каждой схеме определяются суммарные дисконтированные расходы:

$$S = K_0 + \sum_1^{t_{\text{за}}} \tilde{N}_t^{\dot{\delta}, \dot{\delta}} \eta_t + \hat{E}^{\dot{\delta}, \dot{\delta}} \eta_{t_{\dot{\delta}}} + \sum_{t_{\dot{\delta}+1}}^{\dot{\delta}} \tilde{N}_t^{\dot{\delta}, \dot{\delta}} \eta_t - K_{\text{аица}} \eta_{t_{\dot{\delta}}}, \quad (4.1)$$

Первоначальные капиталовложения, производимые до сдачи дороги в эксплуатацию (с учетом затрат на приобретение подвижного состава и стоимости устройств энергоснабжения); ежегодные эксплуатационные расходы при тепловозной и электрической тяге; капиталовложения на электрификацию дороги; возвратные суммы при переходе от тепловозной к электрической тяге; коэффициент приведения (дисконтирования), учитывающий уменьшение значимости затрат, совершаемых через t лет;

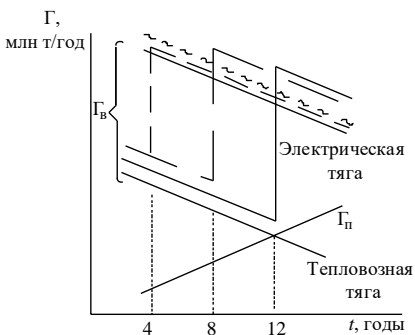


Рисунок 4.2 – Возможные схемы
4 Строится график зависимости $S = f(t_{эл})$ (рисунок 4.3)

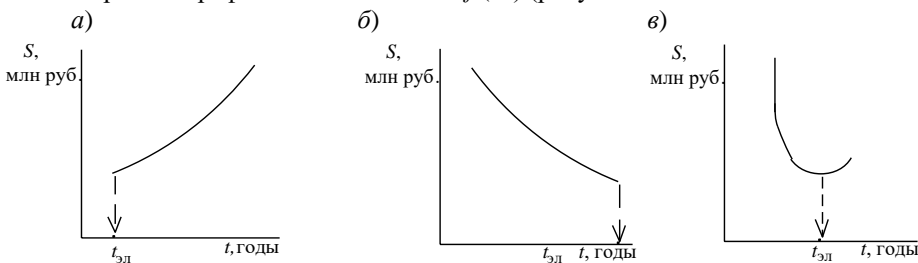


Рисунок 4.3 – Кривая $S = f(t_{эл})$

Экономически рациональный срок перехода к электрической тяге $t_{эл}$ определяется минимальными приведенными расходами. Случай (а) – электрификация с первых лет эксплуатации имеет место:

– при сложных топографических условиях (большой удельный вес напряженных ходов). Преимущество электрической тяги проявляется в большей степени в этом случае (рисунок 4.4);

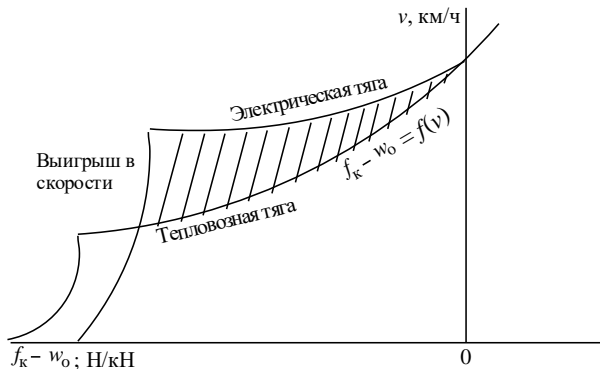


Рисунок 4.4 – Иллюстрация выигрыша в скорости при электрической тяге на диаграмме равнодействующих сил

– при больших размерах перевозок

$$C = C_{зав} + C_{нез} ,$$

где $C_{зав}$ – эксплуатационные расходы, зависящие от размеров движения, на один поезд (меньше при электрической тяге за счет рекуперации и большей скорости движения);

$C_{нез}$ – эксплуатационные расходы по содержанию постоянных устройств при электрической тяге (несколько больше за счет содержания контактной сети и тяговых подстанций).

При большом количестве поездов $C_{зав}$ меньше при электрической тяге. Некоторое увеличение $C_{нез}$ погашается уменьшением $C_{зав}$, и, таким образом, общие расходы при электрической тяге меньше, чем при тепловозной тяге;

– при дешевой электрической энергии и дорогое топливо

Случай (б) (см. рисунок 4.3) имеет место при легких профильных условиях, небольших размерах перевозок и дорогостоящем топливе. Случай (в) – промежуточные условия

4.2 Электрификация участка Жлобин-Калинковичи Бел.ж.д.

Так как электрификация является реконструктивным мероприятием для усиления мощности действующих линий, то в первую очередь решается ряд проектных задач по обоснованию геометрии реконструируемого плана железнодорожной линии, определение скоростей движения и времени хода поезда, решение тормозных задач, определение расхода электроэнергии электровозами и топлива тепловозами, механической работы силы тяги локомотива и работы сил сопротивления.

Для обеспечения надежной работы дорог с хорошими технико-экономическими показателями, железнодорожные линии стран СНГ периодически подвергаются усилению (реконструкции), что требует значительных капитальных вложений и тщательно анализируются особенности: эксплуатационная работа, план и профиль линии, состояние отдельных устройств, перспективы развития полигона сети и многие другие факторы.

Одним из способов увеличения пропускной способности железной дороги (за счет большей расчетной скорости, чем у тепловоза) и провозной способности (за счет большей массы состава) является введение электрической тяги. Однако электрификация не всегда является одним из основных методов увеличения мощности железной дороги. Решающим фактором, оказывающим влияние на экономическую целесообразность и срок электрификации, является наличие источников энергоснабжения, стоимость электроэнергии, размеры и темп роста перевозок, рельеф местности.

Рассмотрим целесообразность введения электрической тяги и определим экономически-целесообразный грузооборот перехода на электротягу на уже электрифицированном в 2017 году однопутном участке Жлобин – Калинковичи ($i_p=9\%$) Белорусской железной дороги, где учитываются наиболее существенные факторы, оказывающие влияние на величину первоначальных и последующих капитальных вложений при электрификации (реконструкции) линии и влияние этих факторов на динамику изменения эксплуатационных расходов.

Участок дороги состоит из 11-ти перегонов с различной длиной, где тяговое плечо соответственно имеет длину 101,5 км. При анализе географического расположения и продольного профиля участка железной дороги установлено, что в связи с наличием равнинной местности, перегонов с затяжным руководящим уклоном не выявлено.

Так как электрифицируемый участок Жлобин – Калинковичи предполагает большой грузопоток с выходом на общеевропейский транспортный коридор №9, то следовало бы рассмотреть эксплуатацию на нем грузового электровоза БКГ-2 китайского производства, который

способен перевозить поезда весом до 9000 т. Однако требуется уменьшение веса такого поезда на приграничных станциях. Требуется изучения состояния земляного полотна и плана железнодорожной линии для больших весовых нагрузок. С учетом этого рассмотрена эксплуатация одного из самых распространенных электровозов на постсоветском пространстве ВЛ80^к, который обращается на железнодорожной линии Москва-Красное-Брест. Для сравнения принимаются уже эксплуатируемые на данном участке тепловозы 2М62 и 2ТЭ10М.

Масса состава грузового поезда принята 4700 т в грузовом направлении и 2810 т – в обратном..

В соответствии с Правилами тяговых расчетов при электрификации участка железной дороги для определения эксплуатационных расходов подсчитываются такие показатели тяговых расчетов как время хода поезда, механическая работа локомотива и работа сил сопротивления, расход топлива или электроэнергии. Эксплуатационные расходы определяются для оценки эффективности поездной работы на электрической тяге по сравнению с тепловозной.

Тяговые расчеты выполняются для тепловозной и электрической тяги с различными локомотивами и весами поездов, а также ограничениями скорости.

Расчеты выполнены в автоматизированной программе «Тяговые расчеты», где после выбора всех параметров (участок железной дороги, тип локомотива, композиция состава поезда и др.), кривые скорости и времени хода строятся автоматически и на экране высвечивается окно с результатами расчета программы (рисунок 4.5)..

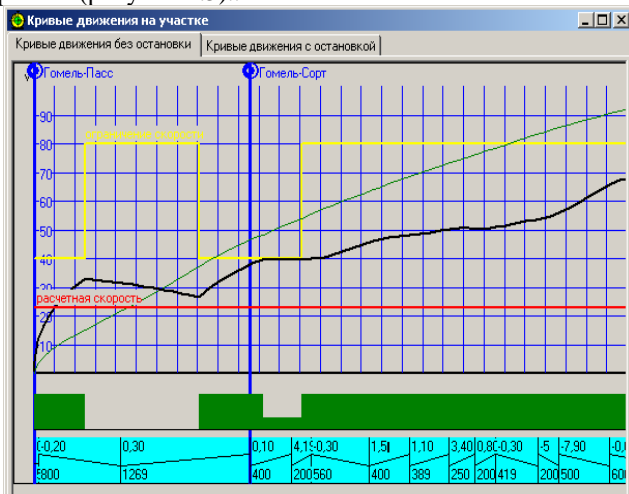


Рисунок 4.5 – Окно «Кривые скорости движения на участке железной дороги»

В окне «Кривые скорости» в графическом виде отражаются следующие кривые:

желтая линия – ограничения скорости движения поезда, где учитываются как постоянные, так и временные;

черная линия – кривая скорости движения поезда;

красная линия – расчетная скорость движения поезда

. В случае если скорость движения поезда опустится ниже расчетной, необходимо вносить корректировки в исходные данные (снизить массу поезда, сменить тип локомотива, использовать на отдельных перегонах или на всем участке кратную тягу и др.);

зеленая линия – кривая времени хода по участку. Каждые 10 минут отмечаются на графике вертикальной линией.

В нижней части окна отображаются уклоны элементов профиля и их длина, а также позиция контроллера локомотива на каждом элементе участка. Проанализировав условия движения поездов по различным элементам профиля, электровоз ВЛ80^к и эксплуатируемые тепловозы 2М62 и 2ТЭ10М на участке Жлобин – Калинковичи в грузовом и обратном направлениях не имеют существенной разницы во времени хода поезда. Это объясняется несложным рельефом местности, не имеющим затяжных руководящих подъемов.

Определим экономически целесообразный грузооборот, при котором себестоимость перевозок при электрической тяге становится меньше, чем при тепловозной. Очевидно, что он напрямую зависит от соотношения стоимостей электроэнергии и топлива на тягу поездов, содержания инфраструктуры, эксплуатационных расходов всех организаций, занятых перевозками.

Выполнив подсчет эксплуатационных расходов методом расходных ставок [6], включающих расходы по движению грузовых поездов (локомотиво-км, локомотиво-ч., вагоно-км, вагоно-ч., тонно-км брутто, бригадо-часы локомотивных бригад, расход топлива и электроэнергии); расходы на остановки поездов, включающие разгон и торможение поездов; расходы по содержанию постоянной инфраструктуры железной дороги (линейные сооружения и устройства, контактная сеть, тягове подстанции, раздельные пункты, снегоочистка лутей); амортизационные отчисления на содержание постоянных устройств дороги (земляное полотно, верхнее строение железнодорожного пути, трубы, мосты, устройства энергоснабжения) при существующей инфраструктуре и при электрификации железной дороги, построен график зависимости эксплуатационных расходов от грузонапряженности для участка Жлобин - Калинковичи при различной стоимости 1 кг топлива и 1 кВт.ч. электроэнергии.

Из графика следует, что существует довольно широкая область значений экономически-целесообразных размеров перевозок перехода к электрической тяге (заштриховано на рисунке 4.6), ниже которой стоимость инфраструктуры электрификации завышена (при малых значениях перевозок), а выше- она компенсируется более высокими технико-экономическими показателями электрической тяги (при больших размерах перевозок). Для участка Жлобин – Калинковичи область значений для перехода к электрической тяге находится в диапазоне от 10 до 14 млн.т. В настоящее время грузонапряженность этого участка составляет 17.5 млн.т т.е.электрификация участка целесообразна.

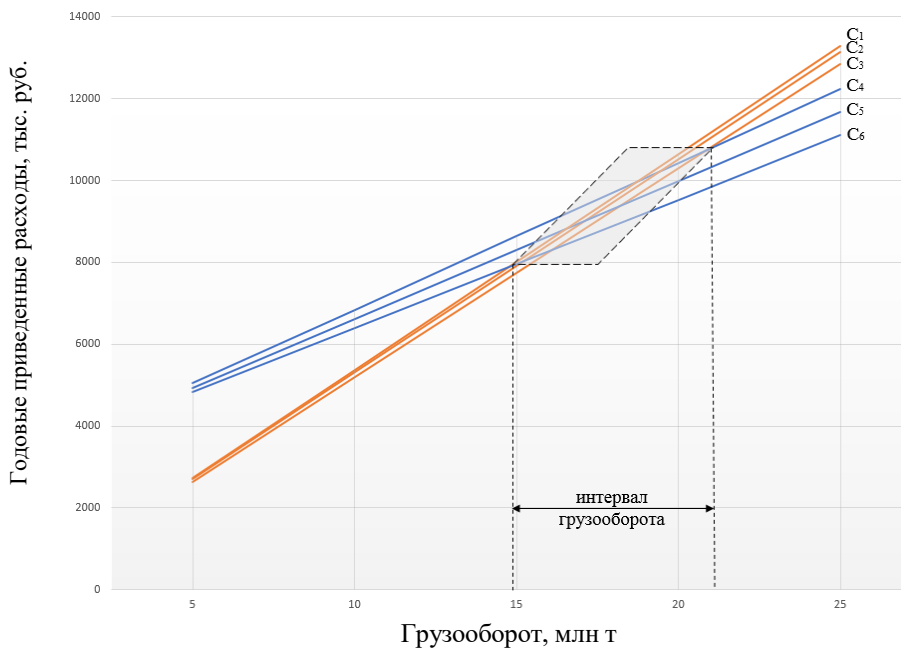


Рисунок 4.6 - Интервал грузооборота грузового направления для перехода на электрическую тягу: C_1, C_2, C_3 – стоимость 1 кг дизельного топлива, руб.; C_4, C_5, C_6 – стоимость 1кВтч электроэнергии, руб.

Рисунок 4.6 – Определение экономически целесообразного грузооборота для перехода на электрическую тягу

Возможная пропускная и провозная способность участка Жлобин – Калинковичи по грузовому движению определялась по известным формулам, приведенным в литературе [6] с учетом коэффициентов съема грузовых поездов пассажирскими и другими поездами. Капиталовложения в электрификацию определялись по главам сводной сметы, учитывающей подготовительные работы к электрификации участка, стоимость опор контактной сети, монтаж и регулировку проводов и другие работы, а также стоимость переустройства СЦБ при изменении вида тяги, стоимость переустройства отдельных пунктов. Учитывалась стоимость подвижного состава в связи с приобретением электровозов.

Строится график этапного наращивания мощности железной дороги [6], на котором технические состояния располагаются по мере убывания эксплуатационных расходов, а сами состояния различаются: типами локомотивов, графиками движения поездов и массой состава грузового поезда. На горизонтальной оси расположены сроки электрификации участка железной дороги.

Намеченные схемы этапного наращивания пропускной и провозной способности сопоставляются по суммарным приведенным расходам с учетом отдаленности их во времени по схеме многоэтапных капиталовложений.

Сравниваемые варианты учитывают капитальные затраты на электрификацию с начала рассматриваемого периода с приобретением необходимого количества локомотивов инвентарного парка и электрификацию в промежуточные сроки (2, 5 и 10-ый годы) с определением соответствующих эксплуатационных расходов, меняющихся во времени от грузонапряженности.6

Способ расчета основан на том, что все затраты, совершаемые в разные этапы, приводятся к сопоставимому виду, т.е. к текущему нулевому году. Приведение затрат будущих лет к затратам текущего года рекомендовано отраслевой инструкцией железнодорожного транспорта и относится как к капитальным вложениям, так и к эксплуатационным расходам.

Подсчет суммы приведенных расходов производится по следующей формуле

$$П = K_0 + \sum_1^i \frac{C_{t_1}}{(1+E_{\text{нп}})^{t_1}} + \frac{K_1}{(1+E_{\text{нп}})^{t_1}} + \sum_{t_1+1}^2 \frac{C_{t_2}}{(1+E_{\text{нп}})^{t_2}} + \frac{K_2}{(1+E_{\text{нп}})^{t_2}} + \dots + \frac{K_n}{(1+E_{\text{нп}})^{t_n}} + \sum_{t_n+1}^T \frac{C_T}{(1+E_{\text{нп}})^T} ,$$

где $П$ – общая сумма всех расходов, приведенных к нулевому году;

K_0 – капитальные вложения, производимые в первоначальный период до эксплуатации объекта, принимаемый за нулевой год;

K_1, K_n – капитальные вложения, производимые поэтапно через t_1, t_n лет в период эксплуатации объекта;

C_{t_1}, C_{t_2}, C_T – ежегодные эксплуатационные расходы за время между двумя смежными этапами капитальных вложений;

$E_{\text{нп}}$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (коэффициент дисконтирования затрат).

Следует учесть, что на отдельных пунктах существующего участка железной дороги Жлобин – Калинковичи имеется достаточное количество приемо-отправочных путей и ранее был организован частично-пакетный график движения поездов, поэтому дополнительных капиталовложений на его введение не потребуется.

Оптимальный срок электрификации определяется с расчетом суммарных приведенных расходов по кривой $\Pi = \sum_1^T K_t \cdot \eta_t = f(t_{\text{эп}})$ в зависимости от изменения стоимости электроэнергии и элементов контактной сети. Анализируя определенные значения, можно сделать следующие выводы:

4 Время хода поезда на участке Жлобин-Калинковичи длиной 101,5 км при электрической тяге отличается от тепловозной тяги на 15 минут, что объясняется равнинным рельефом местности и следованием поезда с одной остановкой...

5 Эксплуатационные расходы, зависящие от размеров движения поезда при электрической тяге меньше, чем при тепловозной на 20 %, а с учетом затрат их простоя и остановки на 15%.

6 Для железнодорожного участка Жлобин – Калинковичи при фактической стоимости электроэнергии и топлива на тягу поездов целесообразен переход от тепловозной тяги к электрической в пределах грузопотока 10–14. млн. т/год.

7 С учетом стоимости электроэнергии от БелАЭС, как постоянному потребителю, Бел. ж. д. однопутный участок Жлобин -Калинковичи, целесообразно электрифицировать к началу расчетного периода..

8 Резервом сокращения расходов на топливо для тяги поездов является повышение качества эксплуатационной работы, совершенствование технологических процессов и улучшение качественных показателей использования подвижного состава.

4.2 Методика выбора оптимального срока электрификации в сочетании с выбором строительства второго пути

Рассматривается задача оптимизации для двух и более независимых переменных. Разработана методика определения оптимального срока электрификации железной дороги в сочетании с выявлением оптимального срока строительства второго пути на поверхности отклика, позволяющая учесть многоэтапные инвестиции в реконструкцию железной дороги.

Плюс электрификации и в продвижении грузопотока. Если раньше поездам в направлении Юг-Север приходилось менять тягу с тепловозной на электровозную, что увеличивало время их простоя на станции Осиповичи, то сейчас эта проблема снята, и смена тягового подвижного состава производится на станции Жлобин.

На станцию Ситница, с которой ведется масштабная отправка щебня, приходится значительная доля грузовой работы Белорусской магистрали. В связи со строительством горно-обогатительного комбината на базе месторождения «Ситницкое» нагрузка будет увеличиваться. Поэтому специалисты считают целесообразным для снижения себестоимости перевозок электрифицировать участки Барановичи-Лунинец_Ситница (с учетом реализации проекта строительства второго пути на перегоне Ситница-Лахва) [1].

В связи со строительством в Беларуси атомной станции электроэнергия станет дешевле и преимущества электрической тяги проявятся в полной мере. Поскольку сразу электрифицировать Белорусскую железную дорогу невозможно, то следует рассмотреть этапность проведения электрификации участков Белорусской железной дороги. Кроме того, Беларусь находится в полигоне электрифицированных железных дорог России, Украины и Польши, что обусловит в перспективе дальнейшую электрификацию Белорусской железной дороги

При электрификации железной дороги или отдельных её участков предусматривается одновременно улучшение плана продольного профиля, уширение земляного полотна, устройство пересечений дорог в разных уровнях, переустройство искусственных сооружений в соответствии с новации габаритами и нагрузками.

Государственной программой развития железнодорожного транспорта предусматривается дальнейшая электрификация Белорусской железной дороги [1]. В связи с этим особую важность приобретают исследования, направленные на рациональное использование ограниченных финансовых ресурсов при планировании электрификации железной дороги. Представляет интерес решение задачи совместного поиска оптимального срока электрификации и переустройства однопутных участков в двухпутные, обеспечивающих снижение транспортно-эксплуатационных затрат пользователей и капитальных вложений в проведение дорожно-строительных работ.

Для отыскания оптимального решения при двух и более независимых переменных (многомерный поиск) разрабатываются методы, основывающиеся на алгебраической или геометрической интерпретации решаемых задач. При алгебраической интерпретации зависимая переменная (критерий) выражается с помощью алгебраических уравнений в виде функции независимых переменных. Отыскание оптимума сводится к анализу функции и решению системы уравнений. В зависимости от характера функции решение системы таких уравнений осуществляется методами классической математики (решением дифференциальных уравнений в частности производных), а также методами линейного и динамического программирования. При геометрической интерпретации и двух независимых переменных зависимая переменная (критерий) представляет собой точку в трехмерном пространстве. Совокупность всех точек зависимой переменной образует поверхность.

Независимых переменных может быть и больше двух. При этом возникает многомерное пространство. Если критерий (зависимая переменная) находится в функциональной зависимости от n независимых переменных, то поиск осуществляется в $(n+1)$ -мерном пространстве и результаты экспериментов располагаются на n -мерной гиперповерхности отклика.

При такой интерпретации поиск оптимального решения сводится к анализу характера гиперповерхности отклика, для выявления:

- унимодальности функции при заданной области изменения независимых переменных;
- рациональной последовательности выполнения экспериментов, обеспечивающей быстрое продвижение к наиболее высокой (при нахождении максимума критерия) или к наиболее низкой (при отыскании минимума) точке этой поверхности;
- координаты (величины независимых переменных), соответствующие этим точкам.

Критерием оптимальности принимается минимальная величина суммарных затрат, связанных с реализацией стратегии S (учитываются затраты, связанные с реализацией проекта, за все годы эксплуатации дороги (суммарные по времени) и по всем направлениям расходования средств (суммарные по составу)), так как именно они, оказывают наибольшее влияние на величину эффектов, получаемых в результате реализации разработанной стратегии [3]

$$S = \sum_{t=0}^T K_t \eta_t + \sum_{t=0}^T C_t \eta_t + \sum_{t=0}^T L_t \eta_t,$$

где K_t – капитальные вложения в основные фонды, руб.; η_t – коэффициент дисконтирования затрат t -го шага к исходному (в качестве исходного принимается год эксплуатации дороги в существующем состоянии); t – расчетный шаг (принимается равным 1 году); T – расчетный период эксплуатации дороги, лет; C_t – эксплуатационные расходы на t -м шаге расчета, руб.; L_t – транзакционные издержки, связанные с реализацией стратегии, руб.

Эксплуатационные расходы включают две группы:

- расходы, зависящие от размеров движения, $C_{зав}$;
- расходы, независимых от размеров движения, $C_{нез}$.

Первая группа включает стоимость расходоуемого топлива и электроэнергии, расходы по ремонту и смазке ходовых частей подвижного состава, часть расходов по текущему содержанию локомотивных бригад, техническому осмотру вагонов. Расходы на экипировку локомотивов и содержание экипировочных устройств определяется пропорционально количеству электроэнергии, отнесенному к токоприёмнику электровоза или расходу дизельного топлива. Расходы, зависящие от времени – расходы на нахождение поездов в пути, считаются с учетом их количества и продолжительности стоянок по графикам движение поездов. Расходы по ремонту локомотивов и вагонов зависящие от пробега определяются пропорционального пробегным измерителям: локомотиво-км и вагоно-км.

Значительную долю расходов в пассажирском движении составляют расходы на ремонт вагонов, зависящие от времени нахождения в пути. Они отличаются от подсчета аналогичных расходов по грузовому движению ввиду высоких скоростей движения, работы локомотивов с неполным использованием мощности и т.п.

Часть расходов по продаже билетов, приему и выдаче багажа, по экипировке пассажирских вагонов определяется пропорционально количеству пассажиров дальнего следования.

Стоимость электроэнергии определяется по тарифам местных энергосистем, а стоимость дизельного топлива – по соответствующим данным применительно к району проектирования.

В расходы, независящие от ресурсов движения включается стоимость текущего содержания главного пути, устройств связи и СЦБ, отдельных пунктов, устройств электроснабжения электрифицированных железных дорог, расходы по очистке путей от снега.

В состав транзакционных издержек входят затраты в сферах проектирования и строительства, связанные с организацией электрификации железной дороги, включающие поиск информации, выбор партнеров, ведение переговоров и заключение договоров, формирование материальных, транспортных и трудовых потоков, связанных с

обеспечением экономической безопасности, проведением подрезных торгов, рекламой.

Расчет затрат выполняется по методике определения эффективности инвестиций на основе утверждающих нормативов удельных показателей стоимости электрификации Белорусской железной дороги.

Используя стратегию пассивного поиска определим оптимальный срок электрификации железнодорожной линии t_1 в сочетании с выявлением оптимального срока строительства второго главного пути t_2 , т.е. необходимо отыскать минимум критерия $S(t_1, t_2)$ с определением оптимального решения при двух независимых переменных.

Анализ поставленной задачи показывает, что она фактически состоит из двух независимых задач:

-электрификация осуществляется на однопутной железнодорожной линии в срок t_2 с одновременной его электрификацией, т.е. $t_1 < t_2$;

-В начале сооружается второй главный путь t_1 , а затем производится электрификация сразу двухпутной линии t_2 , т.е. $t_1 > t_2$.

Графически на прямой $t_1=t_2$ функция $S(t_1, t_2)$ имеет разрыв (рисунок 4.6). Здесь не показаны зоны $t_1 < t_2$ и $t_1 > t_2$, из чего следует, что поиск оптимального решения надо осуществлять раздельно.

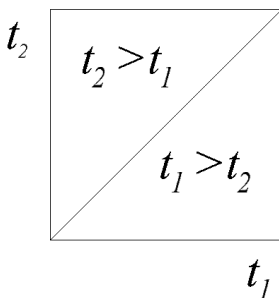


Рисунок 4.6. Область поиска оптимальных решений

Решение этих двух задач с применением пассивного поиска заключается в предварительном определении критерия S для возможных сочетаний t_1 и t_2 при относительно небольшом их приращении. Принятому значению t_1 и t_2 соответствует точка на поверхности отклика (рисунок 4.7).

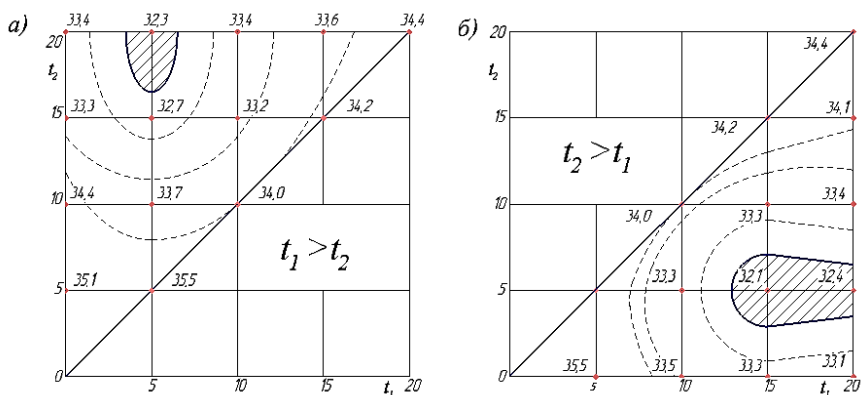


Рисунок 4.7. Поиск в трехмерном пространстве:
а) при $t_1 < t_2$; б) при $t_1 > t_2$

Отметки критерия наносятся на плоскость $S(t_1, t_2)$ и строится модель поверхности отклика, подобная плану в горизонталях (рисунок 2). По отметкам горизонталей устанавливается значение оптимума искомой функции.

В данной задаче при электрификации однопутной железной дороги, а затем строительства двухпутной с её электрификацией, т.е. $t_2 > t_1$, оптимальное решение: электрификация однопутной железной дороги на 5^м году эксплуатации, строительство второго пути с электрификацией на 20^м году; при сооружении второго пути, а затем электрификация двухпутной линии, т.е. $t_1 > t_2$, оптимальное решение: на 5^м году строительство второго главного пути, а на 15^м электрификация двухпутной линии (рисунок 4.7).

В результате анализа существующих методов определения реконструктивных мероприятий на железных дорогах выявлены определяющие критерии и получена модель для отыскания оптимального решения.

Для отыскания оптимального решения при двух и более независимых переменных, т.е. при многомерном поиске разработана методика определения сроков и очередности проведения электрификации и реконструкции железной дороги (строительство второго главного пути) путем отыскания оптимума на поверхности отклика, учесть многоэтапные инвестиции в железную дорогу и выбрать их рациональное сочетание

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Государственная программа развития транспортного комплекса РБ на 2016-2020 годы. Постановление Сов. Мин. РБ №345 от 28.04.2016-33с..

2 Кантор И.И. высокоскоростные железнодорожные магистрали: трасса, подвижной состав, магнитный подвес: учебное пособие / И.И. Кантор. – М.: Маршрут, 2004.-51 с.

3 Экономика железной дороги: учеб. Для вузов железнодорожного транспорта / Н.П. Терешина [и др.]; М.: УМЦ ЖДТ; 2006 – 801 с.

4 Беларусь к 2030 году завершит электрификацию основных грузонапряженных участков : [Электронный ресурс]. URL: <http://www.belta.by/economics/view/> (Дата обращения 16.12.2016).

5. Булко, О.С. Формирование транспортной политики РБ в едином экономическом пространстве / О.С. Булко, Ю.П. Якубук и др. // Институт экономики НАН Беларуси : Беларуская навука, 2014. – 194 с.

6. Высокоскоростные железнодорожные сообщения – достижения и проблемы // Железные дороги мира. – 2001. – №2. – с. 5 – 9.

7. Довгелюк, Н.В. Изыскания и проектирование железных дорог : учеб пособие / Н.В. Довгелюк, Г.В. Ахраменко, И.М. Царенкова; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 333 с.

8. Довгелюк, Н.В. Реконструкция железных дорог: пособие / Н.В. Довгелюк, Г.В. Ахраменко, В.А. Вербило; М-во трансп. и коммуникаций РБ, Бел. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 339 с.

9. Довгелюк, Н.В. Скоростные железнодорожные магистрали : учеб.-метод. пособие / Н.В. Довгелюк, Т.А. Руденко. – Гомель: БелГУТ, 2011. – 43 с.

10. Железные дороги мира // Журнал. – М., 2009, №6, с. 40 – 46.

11. Железные дороги мира // Журнал. – М., 2009, №7, с. 60 – 66.

12. Железные дороги мира // Журнал. – М., 2009, №11, с. 37 – 40.

13. Житенев, Ю.А. Высокоскоростное движение – прыжок в будущее // Обозреватель журнала «Мир путей сообщения». – М., 2013 [Электронный ресурс].

14 Корпоративные новости Белорусской железной дороги: [Электронный ресурс] // URL: <http://www.rw.by/corporate/> (дата обращения: 10.12.2016).

13. Медведева Н. В. Перспективы совместного использования высокоскоростных специализированных магистралей и существующих железнодорожных линий // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2007. №3. URL: <http://cyberleninka.ru/> (дата обращения: 17.12.2016).

16. Минин К.Н. Перспективные проекты строительства высокоскоростных магистралей Россия — Западная Европа с европейской шириной колеи // БРНИ. 2015. №1 (14). URL: <http://cyberleninka.ru/> (да