

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра «Изыскания и проектирование дорог»**

**Н. В. ДОВГЕЛЮК, Т. А. РУДЕНКО**

# **СКОРОСТНЫЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ МАГИСТРАЛИ**

**Учебно-методическое пособие  
по курсовому и дипломному проектированию  
для студентов специальности  
«Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство»**

**Гомель 2011**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Изыскания и проектирование дорог»

Н. В. ДОВГЕЛЮК, Т. А. РУДЕНКО

# СКОРОСТНЫЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ МАГИСТРАЛИ

Учебно-методическое пособие  
по курсовому и дипломному проектированию  
для студентов специальности  
«Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство»

*Одобрено методической комиссией строительного факультета*

Гомель 2011

УДК 625.11(075.8)  
ББК 39.20

Д18

Р е ц е н з е н т – заведующий кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог» канд. техн. наук, доцент *П.В. Ковтун* (УО «БелГУТ»)

**Довгелюк, Н.В.**

Д18 Скоростные железнодорожные магистрали : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности «Стр-во ж. д., путь и путевое хоз-во» / Н.В. Довгелюк, Т.А. Руденко ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 43 с.  
ISBN 978-985-468-956-2

Приведены краткие сведения из проектирования скоростных железных дорог в соответствии с типовой программой дисциплины «Изыскания и проектирование железных дорог».

Предназначено для выполнения курсовых и дипломных проектов и выработки практических навыков проектирования скоростных железных дорог у студентов специальности «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство».

**УДК 625.11(075.8)**  
**ББК 39.20**

## ВВЕДЕНИЕ

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

Во всех индустриально развитых странах мира проблема повышения скорости движения пассажирских поездов вызвана следующими причинами:

- желанием создать условия для сведения к минимуму длительности поездок, что при достаточно высоком уровне комфорта привлекает пассажиров на железнодорожный транспорт и улучшает его экономические показатели;
- необходимостью увеличения потребной пропускной способности магистралей на перспективу;
- экономией энергетических ресурсов, в первую очередь нефтепродуктов, путём переключения пассажирских потоков с авиационного и автомобильного транспорта на железнодорожный;
- жизнеспособностью магистралей, в том числе и в чрезвычайных ситуациях;
- осознанием негативных последствий безудержной автомобилизации, особенно в экологическом отношении.

Обладая значительными преимуществами по сравнению с другими видами транспорта (экономичность, экологическая чистота, высокий уровень безопасности и комфорта), скоростные железные дороги получают всё большее распространение. Общая протяженность высокоскоростных магистралей (ВСМ) в мире в настоящее время составляет около 7000 км, в том числе 3750 км в Европе, причем высокоскоростные поезда обслуживают также полигон протяженностью около 20 тыс. км обычных железнодорожных линий, реконструированных под скоростное движение. В процессе проектирования и строительства находятся ещё 10 тыс. км скоростных дорог.

Многолетний зарубежный опыт проектирования и эксплуатации ВСМ, несмотря на различия социально-экономических, геологических, топографических, демографических условий в разных странах, доказал целесообразность двух способов решения проблемы повышения скорости:

- 1) организации скоростного движения на существующих линиях;
- 2) строительство и ввод в эксплуатацию специализированных высокоскоростных магистралей.

Сегодня существует следующая градация скоростей в пассажирском движении: до 140–160 км/ч – движение поездов на обычных железных дорогах, до 200 км/ч – скоростное движение на реконструированных линиях и свыше 200 км/ч – высокоскоростное движение на специально построенных высокоскоростных магистралах.

## **1 РАЗВИТИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ В ЯПОНИИ И ЕВРОПЕ**

Ситуация на мировом рынке железнодорожных пассажирских перевозок ясно проявила тенденцию резкого повышения скоростей движения пассажирских поездов до уровня 300–350 км/ч.

В настоящее время сформировались центры высокоскоростных пассажирских железнодорожных магистралей – Япония, Китай и Европа, что обусловлено большим значением для этих регионов железнодорожного транспорта, густотой населенности территорий и высоким развитием науки и техники.

Пионером в строительстве высокоскоростных пассажирских железнодорожных магистралей является Япония, где в конце 50-х гг. XX века была принята программа, в соответствии с которой положено начало строительству сети высокоскоростных линий Синкансен в густонаселенных районах страны. Все линии электрифицированные, двухпутные, на которых курсируют 16-вагонные поезда с моторвагонной тягой массой 925 т (серии 100 и 100N). Сейчас поезд серии 500 на маршруте Осака – Хаката развивает скорость 300 км/ч.

В Японии и Испании путевая рельсовая система для высокоскоростного движения полностью изолирована от остальной сети железных дорог. У японцев ширина колеи общенациональной сети железных дорог составляет 1067 мм, а у высокоскоростной магистрали – так называемая степенсоновская колея – 1435 мм. В Испании ширина колеи общенациональной сети составляет 1670 мм, а высокоскоростной, как и в Японии, – 1435 мм. По этой причине ни японские, ни испанские высокоскоростные поезда по общей сети курсировать не могут.

В Европе действует 8 высокоскоростных магистралей: Рим – Флоренция, Париж – Лион – Валанс, Париж – Ле Манн/Тур, Париж – Лилль – Кале, обход Лиона, Мангейм – Штутгарт, Ганновер – Вюрцбург, Мадрид –

Севилья. На вышеперечисленных линиях эксплуатируются поезда с максимальной



Рисунок 1.1 – Скоростной поезд ICE

**Франция.** В 1982 г. началась постоянная эксплуатация ВСМ Париж – Лион со скоростью до 270 км/ч. Принято решение о строительстве линий «Атлантик» на Бордо и «Норд» на Кале. Северная трасса Париж – Лилль – Кале сдана в эксплуатацию в 1993 г. На этих линиях предусмотрено движение поездов TGV со скоростью до 300 км/ч.

Характерной особенностью системы TGV является то, что поезда имеют двойную систему электропитания: переменным и постоянным током. Это дает возможность выхода поездов на существующую сеть обычных железных дорог с любой системой тока.

**Испания.** В 1992 г. начата эксплуатация ВСМ Мадрид – Севилья, на которой 16-вагонные поезда AVE курсируют со скоростью 270 км/ч. При проектировании этой магистрали принято решение об использовании стандартной европейской колеи 1435 мм вместо принятой на Испанских дорогах колеи 1676 мм, что является ярким примером интеграционных процессов в Европейском сообществе.

**Италия.** В этой стране эксплуатируется высокоскоростная магистраль Диреттиссима Рим – Флоренция. Италия стала европейским пионером в высокоскоростных железных дорогах и создателем оригинала поездов серии «Pendolino» — поездов с системой наклона, которая была широко принята в нескольких странах, чтобы лучше всего использовать обычный путь (в противоположность специально построенному высокоскоростному).

**В Италии и Германии** отдают предпочтение комплексной реконструкции железнодорожных направлений: в этих странах строятся новые высокоскоростные линии и модернизируются уже существующие. Немецкие железные дороги (Deutsche Bahn) имеют большой опыт строительства и эксплуатации высокоскоростных железнодорожных линий. Их общая длина в Германии составляет более 2 тыс. км. С 2002 года действует 177-километровая линия Кельн – Франкфурт для скорости движения 350 км/ч. Предусматривается реконструкция сети существующих железнодорожных линий (Гамбург – Кельн, Штутгарт – Мюнхен, Мюнхен – Гамбург), а также строительство новых линий, которые запроектированы на максимальную скорость 280 км/ч. Германии же принадлежит пальма первенства высокоскоростного движения, ведь в этой стране исследования и разработки в области высокоскоростного рельсового транспорта начались еще в конце XIX века, а в 1936 году поезд массой 300 т с паровозом серии 05 компании Borsig смог развить скорость 200,4 км/ч.

**В Великобритании** признано целесообразным повышать скорости движения до 200–250 км/ч на существующих железных дорогах за счет введения в эксплуатацию специального подвижного состава (поезд АРТ). Будет построена новая ВСМ Лондон – Ла-Манш для выхода на европейскую сеть через Евротоннель.

Интересной идеей является проект создания трансъевропейской железнодорожной магистрали Париж – Франкфурт. При его разработке рассматривались различные транспортные системы, вплоть до поездов на магнитной подвеске.

В таблице 1.1 приведены основные параметры и некоторые другие данные уже действующих или строящихся высокоскоростных магистралей и международного трансъевропейского проекта.

К концу 2009 г. в мире эксплуатировалось более 5 тыс. км ВСМ. С 1964 по 2000 гг. по ним перевезено свыше 6 млрд пассажиров; ежедневно по расписанию движется более 1,2 тыс. высокоскоростных поездов [5].

Анализ пассажиропотоков на ряде направлений за рубежом показывает, что при продолжительности поездки не более 2–2,5 ч доля ВСМ в общем объеме пассажирских перевозок железнодорожным и воздушным транспортом достигает 85–90 % и более (рисунок 1.2). При маршрутной скорости высокоскоростных поездов на уровне 200 км/ч и, следовательно, максимальной эксплуатационной скорости не менее 250–300 км/ч, указанная продолжительность поездки соответствует расстоянию в 400–500 км. При времени в пути 3 ч объем высокоскоростного железнодорожного сообщения удерживается на уровне 60 % от общего пассажиропотока

(Париж – Лондон, Париж – Бордо и др.), при продолжительности поездки до 4 ч (протяженность маршрута 800 км) доля ВСМ в сравнении с воздушным транспортом составляет 40–50 %.

Т а б л и ц а 1.1 – Основные параметры высокоскоростных магистралей

Магистраль	Скорость, км/ч		Максимальный уклон продольного профиля, ‰	Минимальный радиус круговой кривой, м	Удельная мощность поезда, кВт/т	Стоимость сооружения 1 км линии
	максимальная	маршрутная				
<i>Япония</i>						
Токайдо	210	175,8	20	2500	12,2	737 млн иен
Санъё	260	184,3	15	4000	12,2	1700 млн иен
Тохоку	260	156,5	15	4000	11,9	1770 млн иен
Дзёэцу	260	154,3	15	4000	11,9	1780 млн иен
<i>Франция</i>						
Париж – Лион	270	205	35	4000	16,3	13 млн фр.
Париж Тур/Леман	300	195,9	15	4000	14,4	13 млн фр.
<i>Италия</i>						
Диреттиссима	250	184	8	3000	14,2	2,36 млрд лир
<i>Германия</i>						
Мангейм–Штутгарт	280	132	12,5	5100	18,2	34,5 млн марок
Ганновер–Вюрцбург	280	187,9	12,5	5100	18,2	34,5 млн марок
<i>Международная</i>						
Париж–Франкфурт	300	206,4	35	3500	–	6,6–8,7 млн марок

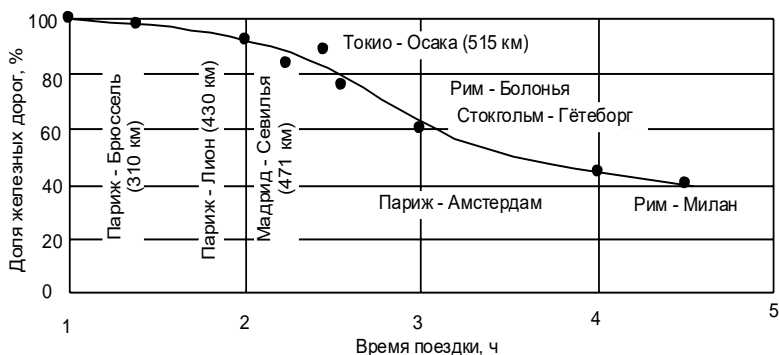




Рисунок 1.2 – Доля железных дорог в общем объеме пассажирских перевозок железнодорожным и воздушным транспортом в зависимости от продолжительности поездки

На IV Международном конгрессе по высокоскоростному железнодорожному движению в Мадриде в 2002 г. отмечалось [3], что вопрос о целесообразности сооружения высокоскоростной магистрали возникает уже тогда, когда население района тяготения к ВСМ составляет 20–25 млн человек и сложившийся в транспортном коридоре протяженностью 500–800 км пассажиропоток достигает 5–6 млн человек в год.

## **2 СКОРОСТНЫЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ЛИНИИ В СТРАНАХ СНГ**

В СССР в 1988 г. была утверждена государственная научно-техническая программа «Высокоскоростной экологически чистый транспорт». В соответ-

ствии с этой программой в 1989–1990 гг. был разработан научный проект высокоскоростной специализированной для пассажирского движения двухпутной магистрали Центр – Юг (Санкт-Петербург – Москва – Крым, Кавказ) (рисунок 2.1) [6].

Строительная длина магистрали составила 2955 км, в том числе Санкт-Петербург – Москва – Лозовая – Симферополь – 1905 км, Лозовая – Ростов-на-Дону – Минеральные Воды – 810 км, ответвление на Адлер – 240 км. Предусматривалось, что после сооружения новой линии время, затраченное на поездку в районы Черноморского побережья Крыма, сократится с 22 до 5–6 ч, а в районы курортных зон Кавказа Центр – Юг (Россия) (Минеральные Воды, Сочи) – с 33 до 9–10 ч.

Кроме ВСМ Центр – Юг выполнены проектные проработки высокоскоростной специализированной железнодорожной магистрали Москва – Минск – Брест протяженностью около 1100 км в вариантах ширины колеи 1520 мм и западноевропейской 1435 мм [6]. Цель этой магистрали – интеграция железных дорог России в общеевропейскую высокоскоростную железнодорожную сеть посредством создания транспортного коридора Москва – Минск – Варшава – Берлин.

Планируется строительство пассажирских высокоскоростных магистралей: Москва – Нижний Новгород – Екатеринбург и Москва – Воронеж – Ростов-на-Дону (последнее – для скоростного сообщения центра страны по российской территории с курортами Черноморского побережья и Северного Кавказа).

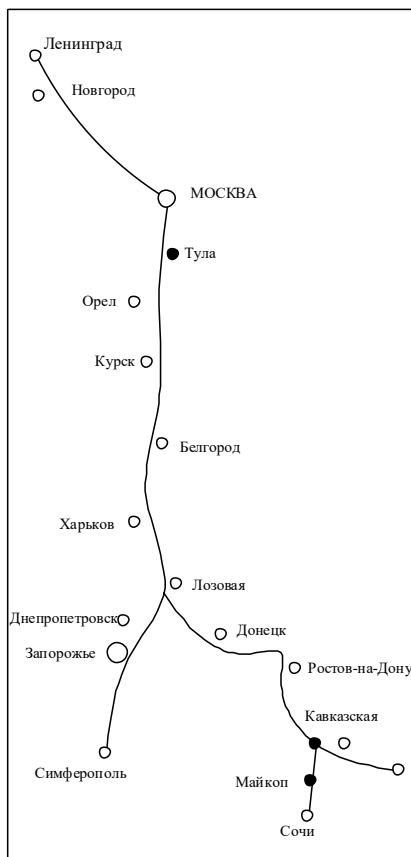


Рисунок 2.1 – Схема высокоскоростной специализированной магистрали

На линии Москва – Санкт-Петербург реализовано скоростное регулярное сообщение – эксплуатируется электропоезд «Сапсан» со скоростью 200 км/ч. Опыт эксплуатации показывает, что пропуск одного такого поезда снимает с графика движения до 12 пар поездов других категорий. В связи с этим для увеличения количества пассажирских поездов, следующих со скоростью 200 км/ч, и реализации движения поездов других категорий требуется строительство III и IV главных путей. При этом может быть рассмотрена возможность переключения части грузовых поездов на параллельное Сонковское направление, что позволит уменьшить протяжение III и IV главных путей на линии Санкт-Петербург – Москва при увеличении количества пассажирских поездов со скоростью движения 200 км/ч.

Создание высокоскоростных магистралей является уже давно назревшей необходимостью для России – страны больших расстояний. Россия занимает четвертое место в мире по пассажирообороту железнодорожного транспорта и не имеет высокоскоростного сообщения.

К сожалению, активное развитие скоростного движения на железных дорогах началось не так давно, поэтому достичь тех объемов скоростных и высокоскоростных пассажирских перевозок, как в Европе, США или Японии, возможно будет не скоро. Основная проблема развития скоростных пассажирских перевозок в России – это отсутствие необходимой инфраструктуры. В России нет чёткого разделения железнодорожных путей для грузовых и пассажирских перевозок, следовательно, существующая материально-техническая база не способна обеспечить решение основной задачи сокращения транзитного времени.

Второе препятствие, в которое упирается создание скоростных пассажирских перевозок, – это отсутствие производителей специализированного подвижного состава. В России пока нет предприятий, способных создать принципиально новый вид железнодорожного подвижного состава для пассажирских перевозок.

Стратегия развития железнодорожного транспорта в России до 2030 года предусматривает создание национальной сети ВСМ как одного из ключевых направлений транспортной стратегии страны. Общая длина построенных магистралей высокоскоростного движения составит около 1,5 тыс. км, необходимые для этого инвестиции оцениваются в 1,26 трлн российских рублей.

Первую высокоскоростную магистраль в России планировалось построить к 2012 году. Она должна соединить Москву и Санкт-Петербург. В настоящий момент проект находится на начальной стадии и к строительству

еще не приступали. Это связано с тем, что до конца не отрегулирована законодательная база по высокоскоростным перевозкам.

В мае 2008 года ОАО «РЖД» и немецкий концерн «Siemens» подписали соглашение о поставке восьми высокоскоростных поездов стоимостью €276 млн и предконтракт о сервисном обслуживании поездов в течение 30 лет на сумму около €300 млн. Скоростные поезда Velaro RUS со скоростью 250 км/ч предполагается использовать в первую очередь на линии Москва – Санкт-Петербург. Конструкцией поезда предусмотрено увеличение максимальной скорости до 330 км/ч после незначительной его модернизации. Электропоезд длиной 250 м будет состоять из десяти вагонов и обеспечит местами более 600 пассажиров (рисунок 2.2). Вместе с тем в ОАО «РЖД» планируют производство новых высокоскоростных электропоездов на территории России в сотрудничестве с иностранными компаниями. Уже сегодня на этом участке курсируют поезда со скоростью 200 км/ч, т. е. на подготовку транспортной инфраструктуры к повышению скорости поездов потребуются минимум временных и денежных затрат.

Вторым направлением, где разрабатывается возможность появления высокоскоростной магистрали, является Санкт-Петербург – Хельсинки. В пользу этого проекта говорит рост туристического потока между Россией и Финляндией. Рост пассажирооборота на этом направлении вдвое превышает европейские показатели.

Движение электропоездов между Петербургом и Хельсинки планируется открыть вводом в эксплуатацию четырех электропоездов из семи вагонов общей стоимостью около €100 млн, которые будут иметь 300 пассажирских мест и максимальную скорость 220 км/ч. Общая стоимость проекта равна 27,5 млрд российских рублей [4].

Другими актуальными направлениями для развития скоростного движения в России являются маршруты, совпадающие с основными потоками внутренней миграции: Центр – Северо-Запад, Центр – Юг, Центр – Поволжье – Урал – Западная Сибирь. ОАО «РЖД» уже провело предварительные работы по оценке возможности организации скоростного движения Москва – Нижний Новгород. На очереди Нижний Новгород – Казань и Екатеринбург – Челябинск [4].

В 2006 году начата реализация проекта в направлении Москва – Минск – Брест и далее в Европу под скорость сначала 140 км/ч, а через несколько лет – до 160 км/ч, с перспективой последующего введения скорости до 200 км/ч. Это позволит, по оценкам специалистов ОАО «РЖД», при реализации проекта с раздвижной колесной парой, доехать до Берлина за 16 часов.



Рисунок 2.2 – Сверхскоростной поезд «Сапсан» (Velaro RUS)

Введение новых технологий перевозок пассажиров на российских железных дорогах сократит время доставки пассажиров на 2–5 часов, улучшит условия перевозок и повысит их комфортность, увеличит пассажиропоток в скоростном движении на 150–200 %, в межрегиональном сообщении на 20–50 %. Реализация программы позволит создать дополнительные 50–100 тыс. рабочих мест по производству и эксплуатации железнодорожной техники нового поколения на российских предприятиях.

Развитие железнодорожного транспорта Республики Беларусь на 2011–2015 годы предусматривает повышение скорости движения пассажирских поездов до 140–160 км/ч, а впоследствии – и до 200 км/ч. Планируется, что на первом этапе Минск и областные центры страны свяжут скоростные поезда, способные передвигаться со скоростью 160 км/ч. В первую очередь поезда с такой скоростью будут курсировать в направлении Бреста. Повышение скорости пассажирских поездов в межобластном сообщении на участках общеевропейских транспортных коридоров значительно сократит время движения поездов между Минском и областными центрами, повысит комфорт и качество предоставляемых населению услуг. В перспективе развития городского скоростного движения уже с 2011 года на Белорусской железной дороге курсирует сверхкомфортабельная городская электричка между станциями «Минск-Пассажирский» и «Ждановичи». Это расстояние поезд вместимостью 555 пассажиров преодолевает за 15–16 мин. Интервал движения на первоначальном этапе составил 20–25 мин. Белорусская

железная дорога заключила контракт на поставку 10 современных электропоездов со швейцарской компанией «Штадлер». Уже ведутся работы по строительству дополнительного пути в направлении станции Ждановичи, по которому будет ездить одна из новых электричек.

Время следования пассажирских поездов от Минска до Вильнюса к 2015 году сократится до 2 часов. Проект организации скоростного железнодорожного движения по маршруту Минск – Вильнюс направлен на укрепление и развитие интеграционных связей Беларуси с Балтийским регионом, на повышение международного имиджа нашей страны и развитие современной транспортной инфраструктуры. С 2015 года после выполнения проектов электрификации, модернизации верхнего строения пути и систем сигнализации и связи на этом направлении скорость пассажирских поездов увеличится до 140 км/ч.

### **3 ПРИМЫКАНИЕ ВСМ К СУЩЕСТВУЮЩИМ ЛИНИЯМ**

Так как основная цель высокоскоростной магистрали – обеспечить минимальное время поездки, трассу ВСМ стремятся проложить по кратчайшему направлению между опорными пунктами. Магистраль может не заходить даже в достаточно крупные промежуточные населенные пункты, если это вызывает ощутимое удлинение трассы. Поэтому при проектировании ВСМ ставится задача обеспечить связь новой магистрали с существующей железнодорожной сетью для возможности доставки пассажиров, пользующихся ВСМ, в наиболее крупные центры, расположенные между конечными пунктами магистрали. На ВСМ предусматриваются станции, которые могут иметь связь с соответствующими станциями существующих железных дорог.

На трассе ВСМ необходимо через 50–80 км располагать станции для базирования подразделений по ремонту и текущему содержанию пути, контактной сети и других линейных устройств. Эти станции должны иметь выход через соединительные ветви на существующие линии, по которым будет доставляться ремонтная техника и материалы на высокоскоростную магистраль.

Указанные требования определили принцип трассирования высокоскоростных магистралей, согласно которому, наряду с укладкой трассы по кратчайшему направлению, предусматривается через определенные расстояния пересечение ВСМ с существующими железными дорогами. Так запроектированы многие высокоскоростные линии за рубежом.

Все пересечения ВСМ с железными и автомобильными дорогами, а также пешеходные переходы, скотопрогоны, проходы для миграции животных проектируются в разных уровнях. Для организации пешеходного движения предусматривают пешеходные мосты и тоннели, а для пропуска полевых дорог и прогона скота могут быть использованы водопропускные сооружения – мосты и трубы (с соответствующим увеличением их габаритов).

Необходимость сооружения тоннелей возникает в условиях густонаселенной местности, когда затруднительна прокладка трассы по поверхности. Вариант сооружения тоннеля рассматривался в проектных проработках ВСМ Москва – Минск – Брест на выходе трассы из Москвы.

#### **4 ПЛАН И ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ**

Продольный профиль и план пути участков железных дорог для скоростного движения должны отвечать требованиям строительно-технических норм «Железные дороги колеи 1520 мм» [1].

Наибольшие скорости движения поездов по существующим кривым в зависимости от структуры поездопотока устанавливаются исходя из непревышения: непогашенного поперечного ускорения  $0,7 \text{ м/с}^2$  для пассажирского поезда и  $0,3 \text{ м/с}^2$  для грузового поезда.

План трассы высокоскоростных зарубежных железных дорог характеризуется радиусами кривых 4000–6000 м. Длина переходных кривых (клотоиды) достигает 300 м при уклоне прямолинейного отвода возвышения наружного рельса в пределах 0,5–0,6 ‰. Наибольшая величина возвышения наружного рельса – 150–180 мм. Длина прямых вставок между смежными кривыми составляет 200–300 м. Расстояние между осями путей – 4500 мм на TGV Nord и 4800 мм на TGV Mediterranee.

Максимальный уклон продольного профиля ВСМ на разных железных дорогах принимается в зависимости от топографических условий местности и составляет 12–15 ‰. Наибольший уклон (40 ‰) принят на железной дороге Кёльн – Франкфурт-на-Майне в Германии.

Радиусы вертикальных кривых на переломах профиля составляют 25–40 км.

Нормы проектирования для дорог со скоростями движения 160–200 км/ч приводятся в Строительно-технических нормах Министерства путей сообщения России [1]. Для обоснования параметров плана высокоскоростных магистралей (скорость движения свыше 200 км/ч) во ВНИИЖТе МПС были выполнены исследования взаимодействия подвижного состава и пути в прямых участках и кривых различного радиуса при скоростях до 300 км/ч. Для ВСМ значения радиусов кривых составляют

7000 м, и только в исключительных случаях – не менее 4000 м, тогда как рекомендуемое значение радиуса для скоростных дорог – 4000 м и 800 м по согласованию с вышестоящей организацией.

Возвышение наружного рельса в кривых должно удовлетворять двум требованиям:

- 1) обеспечивать одинаковый вертикальный износ обоих рельсов;
- 2) создавать комфортные условия езды пассажиров, характеризующиеся величиной непогашенного поперечного ускорения.

Длины переходных кривых должны быть не менее, м:

-  $1,5h$  при скоростях 141–160 км/ч;

-  $2,0h$  при скоростях 161–200 км/ч,

где  $h$  – возвышение в кривой, мм.

Длины промежуточных переходных кривых, сопрягающих круговые кривые разных радиусов, направленных в одну сторону, следует определять в зависимости от разности возвышения наружного рельса. Полученные по расчету длины переходных кривых следует округлять до значений, кратных 10 м.

Отвод возвышения наружного рельса производится в пределах переходной кривой плавно на всем ее протяжении. Крутизна отвода возвышения должна быть не более 1 мм на 1,5 м длины при скоростях 141–160 км/ч и 1 мм на 2 м длины при скоростях 161–200 км/ч.

Прямые вставки между смежными кривыми на высокоскоростных магистралях устраивают возможно большей длины. При максимальных скоростях  $v_{\max} = 301 \dots 350$  км/ч длину прямой вставки между начальными точками переходных кривых принимают не менее 800 м, при  $v_{\max} = 200 \dots 300$  км/ч – не менее 600 м, а при  $v_{\max} = 160 \dots 200$  км/ч – не менее 150 м.

Нормами проектирования ВСМ наибольший уклон продольного профиля пути установлен в размере 24 ‰, а в особо трудных условиях, при соответствующем технико-экономическом обосновании, он может быть увеличен до 35 ‰.

Нормируемая длина элементов переходной крутизны и разделительных площадок  $l_n$  принята для высокоскоростных магистралей 350 м, для скоростных – 300 м. Наибольшая алгебраическая разность уклонов смежных элементов на переломах профиля  $\Delta i$  установлена следующая: рекомендуемая –  $\Delta i_{\text{рек}} = 4$  ‰; допускаемая –  $\Delta i_{\text{доп}} = 10$  ‰.



На выпуклых переломах профиля  $R_v = 30$  км, а на вогнутых –  $R_v = 25$  км. На участках пути, где максимальные скорости движения будут менее 350 км/ч, допускается пропорциональное уменьшение радиусов вертикальных кривых в соответствии с зависимостью, но не менее чем до 15 км. Вертикальные кривые следует размещать вне переходных кривых в плане [1].

При алгебраической разности уклонов смежных элементов менее 1,6 ‰ на выпуклых переломах и менее 1,8 ‰ на вогнутых переломах профиля вертикальные кривые могут не устраиваться, поскольку в этих случаях биссектриса вертикальной кривой составляет менее 1 см.

### 5 СПРЯМЛЕНИЕ ТРАССЫ НА УЧАСТКЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

На многих существующих железных дорогах наблюдается избыточное развитие линии. В настоящее время при современном уровне развития техники возможно спрямление трассы на таких участках. Пример спрямления участка железной дороги приведен ниже.

Исходные данные	
Начальная кривая $Y - 21^\circ 45'$ ; $R - 920$ м; $T - 176,75$ м; $K - 349,06$ м.	Конечная кривая $Y - 42^\circ 32'$ ; $R - 740$ м; $T - 288,02$ м; $K - 549,06$ м.

Существующий план линии приведен на рисунке 5.1.

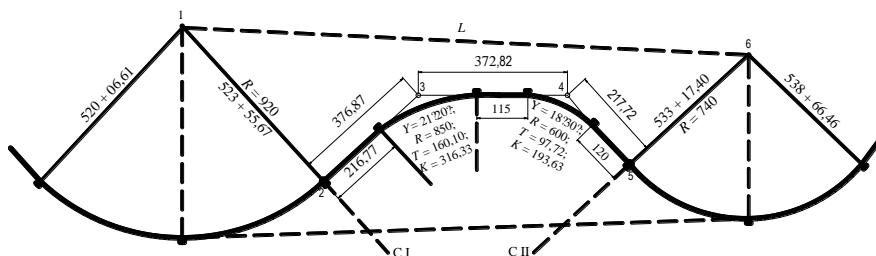


Рисунок 5.1 – Существующий план линии

Подсчет координат для определения расстояния между центрами кривых, сопрягаемых касательной, приведены в таблицах 5.1 и 5.2.

$$L = \sqrt{(\sum \Delta y)^2 + (\sum \Delta x)^2} ; \quad (5.1)$$

$$L_1 = \sqrt{1365,34^2 + 626,84^2} = 1502,36 \text{ м};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \sum \Delta y / \sum \Delta x; \operatorname{tg} \varphi = 1365,34 / 626,84 = 2,178132 \text{ м};$$

Т а б л и ц а 5.1 – Подсчет координат для определения расстояний между центрами кривых, сопрягаемых касательной слева

Верши на угла	Угол поворота		l, м	Румб α	sin α	cos α	l sin α	l cos α
	лево	право					± Δy	± Δx
1			920,00	С – 0°00′	0,0000	1,0000	– 0,00	+ 920,00
2	90°00′		376,87	СЗ – 90°00′	1,0000	0,0000	– 376,87	+ 0,00
Верши на угла	Угол поворота		l, м	Румб α	sin α	cos α	l sin α	l cos α
	лево	право					± Δy	± Δx
3		21°20′	372,82	СЗ – 68°40′	0,9315	0,3638	– 347,27	+ 135,63
4		18°30′	217,72	СЗ – 50°10′	0,7679	0,6406	– 167,19	+ 139,46
5	90°00′		740,00	ЮЗ – 39°50′	0,6406	0,7679	– 474,01	– 568,25
6							– 1365,30	– 568,25
							– 4,00	+ 1195,09
							– 1365,30	– 568,25
							– 4,00	+ 626,84

Т а б л и ц а 5.2 – Подсчет координат для определения расстояний между центрами кривых, сопрягаемых касательной справа

Верши на угла	Угол поворота		l, м	Румб α	sin α	cos α	l sin α	l cos α
	лево	право					± Δy	± Δx
6			740,00	С – 0°00′	0,0000	1,0000	+ 0,00	+ 740,00
5		90°00′	217,72	СВ – 90°00′	1,0000	0,0000	+ 217,72	+ 0,00
4	18°30′		372,82	СВ – 71°30′	0,9483	0,3173	+ 353,55	+ 118,29
3	21°20′		376,87	СВ – 50°10′	0,7679	0,6406	+ 289,40	+ 241,41
2		90°00′	920,00	ЮВ – 39°50′	0,6406	0,7679	+ 589,31	– 706,48
1							+ 1449,90	+ 1099,70
							+ 8,00	– 706,48
							+ 1449,90	+ 393,22
							+ 8,00	

$$\operatorname{tg} \varphi = 65^\circ 20' 23''.$$

$$L_2 = \sqrt{1449,98^2 + 393,22^2} = 1502,36 \text{ м};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 1449,98 / 393,22 = 3,687445; \operatorname{tg} \varphi = 74^\circ 49' 37''.$$

$$\sin \beta_2 = \frac{\Delta R}{L}; \quad (5.2)$$

$$\sin \beta_2 = \frac{180,00}{1502,36} = 0,119811; \quad \beta_2 = 6^\circ 52' 52''.$$

$$\beta_1 = 90^\circ - \beta_2; \quad (5.3)$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 90^\circ - 6^\circ 52' 52'' = 83^\circ 07' 08''; \\ \beta_3 &= 90^\circ + \beta_2; \\ \beta_3 &= 90^\circ + 6^\circ 52' 52'' = 96^\circ 52' 52''.\end{aligned}\tag{5.4}$$

Расстояние между центрами первой и второй кривых определяется согласно рисункам 5.2, 5.3.

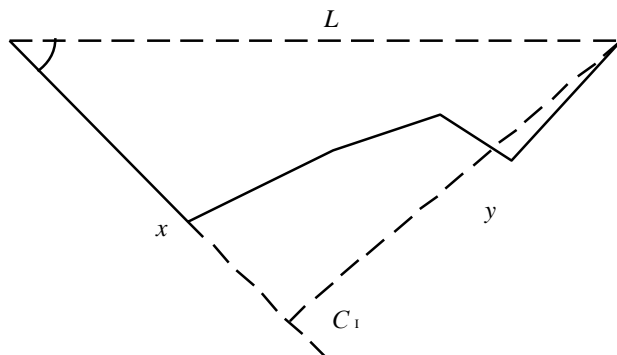


Рисунок 5.2 – Определение расстояния между центром и первой кривой

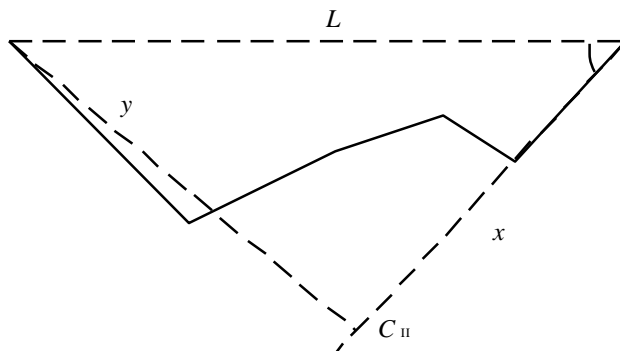


Рисунок 5.3 – Определение расстояния между центром и второй кривой  
Определяются: длина касательной и углы, отсекаемые ею

Длина касательной

$$\begin{aligned}L_{\text{тп1}} &= L \cos \beta_2; \\ L_{\text{тп1}} &= 1502,36 \cos 3^\circ 52' 52'' = 1491,54 \text{ м.}\end{aligned}\tag{5.5}$$

Отрезаемый от первой кривой угол

$$\alpha_1 = \beta_1 - \varphi_1;\tag{5.6}$$

$$\alpha_1 = 83^\circ 07' 08'' - 65^\circ 20' 23'' = 17^\circ 46' 45'' = 17^\circ 47'.$$

Отрезаемый от второй кривой угол

$$\alpha_1 = \beta_3 - \varphi_2; \tag{5.7}$$

$$\alpha_1 = 96^\circ 52' 52'' - 74^\circ 49' 37'' = 22^\circ 03'.$$

Полученные элементы кривых сводим в таблицу 5.3.

Т а б л и ц а 5.3 – Элементы кривых

Кривые					
существующая	отрезаемая	остающаяся	существующая	отрезаемая	остающаяся
Y – 21°45'; R – 920 м; T – 176,75 м; K – 349,06 м	Y – 17°47'; R – 920 м; T – 143,93 м; K – 285,40 м	Y – 03°58'; R – 920 м; T – 32,83 м; K – 63,66 м	Y – 20°29'; R – 740 м; T – 143,84 м; K – 264,42 м	Y – 22°03'; R – 740 м; T – 144,18 м; K – 284,64 м	Y – 42°32'; R – 740 м; T – 288,02 м; K – 549,06 м

Спряmlенный план линии, а также профильная схема представлены на рисунках 5.4, 5.5 соответственно.

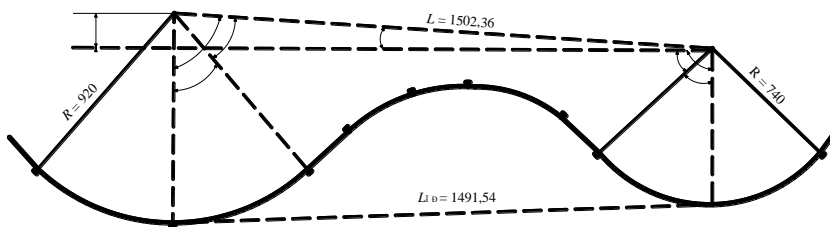


Рисунок 5.4 – Новый план линии

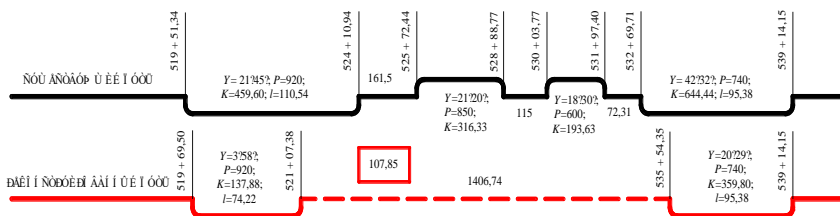


Рисунок 5.5 – Профильная схема

## 6 ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ВСМ

При проектировании, строительстве и эксплуатации высокоскоростных железных дорог земляное полотно должно соответствовать следующим параметрам:

- ширина основной площадки земляного полотна высокоскоростных двухпутных дорог – 13 м, исходя из необходимости размещения балластной призмы, опор контактной сети, ширины обочин и лотков для прокладки кабеля;

- наименьшая высота насыпи в уровне бровки земляного полотна, опирающегося на сухое прочное основание из глинистых грунтов, определяется величиной не менее высоты защитного слоя. В полувыемках – полунасыпях и на косогорах под основной площадкой земляного полотна обеспечивается одинаковая плотность грунтов, исключающая возможность их неравномерного уплотнения и развития деформаций в процессе эксплуатации;

- возвышение бровки основной площадки земляного полотна: над уровнем снежного покрова – не менее чем на 1 м; над расчетным уровнем длительного стояния воды (более 20 дней) или над уровнем грунтовых вод – не менее чем на 1,5 м; над расчетным уровнем воды при паводках – не менее чем на 0,2 м, а также при исключении обводнения подошвы защитного слоя;

- уплотнение грунтов в выемках с использованием грунтоуплотнительной техники, армирования и других средств, если в природном сложении плотность грунтов меньше 98 % от максимального его значения;

- обеспечение защиты земляного полотна от грунтовых и поверхностных вод системой водоотводных сооружений.

Все элементы земляного полотна должны обеспечивать экологическую безопасность, соответствовать требованиям транспортной эстетики, иметь устройства контроля их состояния в процессе строительства и эксплуатации высокоскоростных железных дорог.

## **7 ОСОБЕННОСТИ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ ВСМ**

Особенности динамики взаимодействия пути и подвижного состава, повышенные требования к стабильности пути и безопасности движения определяют ряд специфических требований к конструктивным элементам верхнего строения пути (ВСП) высокоскоростных линий.

На высокоскоростных магистралях применяется бесстыковой путь температурно-напряженного типа, не требующий разрядки температурных напряжений.

*Рельсы.* В большинстве стран мира, имеющих скоростное движение, применяются рельсы тяжелых типов массой более 60 кг/м погонной длины (Р65). К рельсам, помимо высоких прочностных характеристик, предъявляются жесткие требования по прямолинейности. Искривления рельсов в вертикальной и горизонтальной плоскостях не должны превышать 0,3 мм на базе измерений 1,5 м; не допускается провисание рельсовых концов. В сварных стыках не допускаются неровности в виде впадин, бугров более 0,3 мм, несовпадение торцов рельсов более 0,2 мм.

Рельсы свариваются в длинные плети, включающие и стрелочные переводы. Стыки, в том числе и изолирующие, не предусматриваются.

На ВСМ рекомендуется применять легированные рельсы. В пути для уменьшения геометрических неровностей и волнообразного износа рельсов в процессе эксплуатации проводится их периодическая шлифовка.

*Рельсовые скрепления.* Одним из главных требований к скреплениям является обеспечение упругой связи с подрельсовыми основаниями и демпфирование ударнодинамических силовых воздействий в системе «колесо – рельс», а также регулирование положения рельса в плане и по высоте.

*Балластный слой.* Основной особенностью устройства балластных призм на ВСМ является обязательная укладка, кроме балластного слоя, защитного слоя или геоматериалов и гидроизоляционной пленки. Защитный слой предупреждает загрязнение балласта частицами земляного полотна и предохраняет его от промерзания и пучения.

Для увеличения несущей способности основной площадки земляного полотна, особенно в условиях колебания верхнего слоя пути, на европейских железных дорогах под балласт укладывается водонепроницаемый слой асфальта толщиной 5–8 см, а для обеспечения равномерного распределения нагрузок толщину его увеличивают до 15–20 см. Иногда применяют грунтобетонные подушки.

*Стрелочные переводы.* К высокоскоростным стрелочным переводам предъявляется ряд специфических требований:

- закрепление прилегающего пути от угона, устройство анкерных участков пути или установка уравнильных приборов со стороны рамного рельса и крестовины;
- установка внешних замыкателей на остриях и подвижных усювиках;
- обязательная закалка рамных рельсов, острижков, подвижных сердечников и рельсов соединительных путей;

- укладка железобетонных брусьев с регулируемыми упругими креплениями;
- применение остряков секущего типа с выпрессованной корневой частью, со специальными противоугонными устройствами;
- подуклонка рельсовых нитей по всей длине перевода.

Международным союзом железных дорог разработан типоразмерный ряд стрелочных переводов, допускающих движение поездов со скоростями 100, 130, 160, 200 км/ч и более. Их основные параметры приведены в таблице 7.1.

**Т а б л и ц а 7.1 – Типоразмерный ряд стрелочных переводов для скоростного движения (на бесстыковом пути)**

Марка крестовины	Длина $L_n$ , м	Скорость движения $v$ , км/ч
1/12	45,361	65
1/14	54,216	80
1/18	66,615	100
1/26,5	94,306	130
1/42	154,266	200

В странах СНГ при максимальной скорости  $v_{\max} = 160$  км/ч используются стрелочные переводы марки 1 / 11 с подвижным сердечником крестовины и марки 1/18.

## **8 ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ СКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ**

Стомильный (160,9 км/ч) рубеж скорости на железных дорогах был преодолен в 1839 г. в Великобритании на дороге «Грейт Вестерн» одиночным паровозом «Hurricane» (англ. «Ураган»).

В 1933 г. в Германии на линии Берлин – Гамбург дизель-поезд «Летучий гамбуржец» с электрической передачей из двух моторных вагонов развил скорость 165 км/ч. В 1939 г. на том же маршруте дизель-поезд «Летучая серебряная рыбка» с гидравлической передачей из двух моторных и одного прицепного вагона в опытной поездке достиг скорости 215 км/ч.

В Великобритании в 1973 г. были введены в эксплуатацию скоростные дизель-поезда «ИнтерСити 125», рассчитанный на максимальную скорость 201,1 км/ч. В испытательном рейсе на линии Лондон – Эдинбург этот дизель-поезд развил скорость 260,1 км/ч, средняя скорость поездов на указанном маршруте составляла 180 км/ч.

В 1930 г. в Италии был создан электропоезд ETR200 для работы на линиях, электрифицированных на постоянном токе напряжением 3 кВ. Он состоял из трех вагонов и имел суммарную мощность тяговых двигателей 1100 кВт. В 1939 г. этот поезд проследовал маршрут Флоренция – Милан (314 км) со средней скоростью 202,8 км/ч.

В 1955 г. во Франции электровозы постоянного тока серий СС7100 и ВВ9000, каждый с составом из трех вагонов, превысил скорость 300 км/ч на экспериментальном участке длиной 66 км линии Париж – Орлеан

(наибольшая скорость 331 км/ч). В 1967 г. во Франции был введен в эксплуатацию скоростной поезд, который на маршруте Париж – Тулуза имел по расписанию максимальную скорость движения 200 км/ч.

В те же годы во Франции были созданы скоростные газотурбинные локомотивы, развивающие скорости до 300 км/ч. Однако вследствие больших расходов по эксплуатации и ремонту газотурбинных локомотивов, значительного выброса ими в атмосферу загрязняющих веществ и сильного шума при работе выбор вида тяги был сделан в пользу электрической.

В Японии на высокоскоростной сети железных дорог Синкансен применена также электрическая тяга. Первоначально (1964 г.) максимальная скорость движения электропоездов составляла 210 км/ч, а в 90-х годах этот поезд уже развивал скорость около 400 км/ч. В июле 1996 г. опытным поездом 300Х был установлен национальный рекорд скорости 443 км/ч.

На высокоскоростных магистралях применяются два типа поездов с электрической тягой. Первый тип – моторвагонный поезд, у которого моторные вагоны с двигателями сравнительно небольшой мощности (до 1500 кВт) являются одновременно тяговыми и служат для размещения пассажиров. Второй тип (локомотивная тяга) – поезд, у которого по концам состава располагаются электровозы, а пассажиры размещаются в прицепных вагонах.

В высокоскоростных поездах используются вагоны, оборудованные механизмом наклона кузова. Подвижной состав с наклоном кузова внутри кривой способен уменьшать действующие на пассажиров поперечные ускорения и позволяет таким образом повысить скорость движения на линиях с многочисленными кривыми без ущерба для комфорта поездки. Что касается самой техники наклона, то к ней относятся лишь те устройства на подвижном составе, которые непосредственно необходимы для наклона кузова (рисунок 8.1).





## Рисунок 8.1 – Система наклона кузова и ее основные компоненты

Если кузов вагона, имеющий маятниковую подвеску, наклоняется только в результате действующих на него центробежных сил, то в этом случае говорят о пассивной технике наклона. При активной технике наклона кузов вагона с помощью исполнительного привода и управляющего устройства искусственно наклоняется внутрь кривой.

Система наклона кузова должна всегда дополняться конструктивными мерами по снижению нагрузки на колеса и путесберегающей конструкцией экипажной части (радиальная установка колесных пар, снижение неподрессоренных масс и т. д.). Наряду с обеспечением безопасного режима движения, таким образом предотвращается или, по крайней мере, ограничивается увеличение общей нагрузки на верхнее строение пути (статические и динамические нагрузки), несмотря на увеличение скорости движения.

Линии для движения поездов с наклоном кузовов вагонов должны быть подготовлены как с точки зрения трассировки (радиусы переходные кривые, стрелочные переводы в кривых, при необходимости также профили тоннелей и контактная сеть), так и с точки зрения систем обеспечения безопасности движения поездов (например, контроль скорости у сигналов и в опасных местах, обеспечение безопасности на железнодорожных переездах, установка дополнительных устройств локомотивной сигнализации). Только сочетание самой техники наклона с мероприятиями по адаптации подвижного состава и железнодорожных линий может привести к созданию законченной и работоспособной системы.

*Механизм смещения кузова вагона.* Механизмы смещения кузова вагона для его наклона имеют различия в конструкции механической части. Одно из отличий заключается в функциональной связи с другими элементами экипажной части (пневматические рессоры, опоры против боковой качки). За исключением поездов Talgo с пассивным наклоном кузова вагонов, функциональная интеграция имеется только в системе наклона ContRoll фирмы Bombardier-Talbot. Все другие испытанные в эксплуатации или разрабатываемые в настоящее время системы наклона кузова основываются на функциональном разделении. Почти во всех предложенных технических решениях механическая связь кузова вагона с ходовой частью в плоскости смещения осуществляется с помощью поперечно расположенного маятника (Adtranz, Fiat, Siemens-SGP) или с помощью расположенных на раме ходовой части опорных роликов (Fiat-SIG, Япония), на которые кузов вагона опирается через дугообразные опоры.

*Изменения в конструкции кузова вагона.* На современном уровне развития систем наклона кузова сервопривод размещается в основном или полностью на тележке. Поэтому больше нет необходимости вносить

изменения в конструкцию кузова, как это было, например, на ETR401. На электропоездах с наклоном кузова необ-

ходимо обеспечить, чтобы при прохождении кривых токоприемник не наклонялся вместе с кузовом. Самым простым способом эта проблема решается путем использования головных моторных вагонов без наклона кузова (поезд Х-2000). Фирма Fiat устанавливает на раме с первичным рессорным подвешиванием опорное ярмо, опираясь на которое токоприемник не зависит от наклона кузова вагона. На ICT это решение усовершенствовано за счет применения направляющих тяг, чтобы обеспечить более широкий проход в вагоне. Фирмы Talbot, DWA, Fiat-SIG и Siemens предлагают боковое смещение для компенсации наклона кузова вагона, которое должно обеспечиваться без вмешательства в конструкцию кузова, но при котором требуются дополнительные устройства управления для токоприемника. Однако это предложение до сих пор еще не было в достаточной мере конкретизировано.

*Уровень оси вращения.* Различные исследования и многочисленные испытания показали, что ось вращения для системы наклона кузова относительно продольной оси подвижного состава в идеальном случае должна проходить на уровне поверхности сидений или немного выше (на уровне живота сидящего человека). При таком расположении оси вращения вероятность возникновения неприятного ощущения у пассажиров минимальна. Если ось вращения будет проходить на уровне пола или ниже, то наклон будет восприниматься как боковая качка (опасность возникновения эффекта морской болезни у пассажиров).

Во многих системах наклона ось вращения расположена на высоте от 300 до 700 мм над уровнем пола.

*Полезный угол наклона.* С помощью устройства смещения кузова вагона можно установить максимальный угол наклона по отношению к вертикали. В соответствии со свойствами первичного и вторичного подвешивания при быстром прохождении криволинейных участков пути кузов вагона из-за возникающих центробежных сил будет наклоняться на внешнюю сторону кривой. Эффективно используемый для уменьшения действующего на пассажиров бокового ускорения угол наклона, как правило, на 1- 2,5 град. меньше угла, устанавливаемого с помощью устройства смещения кузова. Обычно в технической литературе и в рекламных проспектах указывается не полезный, а устанавливаемый угол наклона. Однако выводы о полезном угле наклона можно сделать по форме кузова вагона.

*Поперечное рессорное подвешивание.* Поперечное рессорное подвешивание осуществляется, как и на традиционном подвижном составе, через вторичное подрессоривание. Если устройство для смещения кузова вагона расположено над вторичным подрессориванием, то устанавливается активное поперечное рессорное подвешивание или поперечное

центрирование. Эта мера объясняется очень сильной нагрузкой вторичного рессорного подвешивания (в поперечном направлении) и преподносится в качестве дополнительной меры по повышению комфорта для пассажиров. Активное поперечное рессорное подвешивание отвечает также и за поперечное смещение кузова вагона, которое в других случаях контролируется самим сервоприводом или поперечно установленным сервоцилиндром.

Особую сложность представляет организация высокоскоростного движения в непрерывном сообщении по участкам с различной шириной колеи.

На первом этапе разработок определили конструктивную концепцию и основные параметры подвижного состава и стационарной установки. В пичный подвижной состав железных дорог Японии. К тому же электропоезд, все колесные пары которого моторные, может проходить через установку своим ходом. Кроме того, комплект тягового электрооборудования опытного электропоезда изготовили с расчетом на работу от двух систем тягового электроснабжения, благодаря чему он стал поистине универсальным.

Установка для изменения колеи (рисунки 8.2, 8.3) имеет общую длину 22 м. Она состоит из трех участков: колеи 1067 мм, переходного длиной 5 м и колеи 1435 мм.

В середине по обеим сторонам пути установлены опорные рольганги, по длине перекрывающие переходный участок и прилегающие к нему концы участков узкой и нормальной колеи.

Верхний уровень опорных рольгангов постоянный. Рельсы ходовых участков постепенно понижаются по направлению к переходному, так что при входе на последний их УГР на 55 мм ниже, чем на основном пути. На переходном участке уложены сдвоенные направляющие рельсовые нити, которые принудительно смещают колеса на оси, изменяя расстояние между ними в соответствии с новой шириной колеи. Когда поезд проходит через участок основного пути, прилегающий к переходному, вследствие понижения УГР ходовых рельсов нагрузка от кузова снимается с колес и передается через корпуса букс на опорный рольганг.

При этом высвобождаются штифты букс, фиксирующие положение колес на оси, соответствующее прежней ширине колеи. По мере дальнейшего продвижения поезда по переходному участку колеса постепенно сдвигаются или раздвигаются на оси в зависимости от направления движения поезда. Когда при выходе с переходного участка рельсы вновь поднимаются, перед тем, как нагрузка от кузова опять перейдет с опорного рольганга на колеса, штифты букс фиксируют колеса в положении, соответствующем новой ширине колеи.

Важным условием устойчивой работы системы является сохранение тяги в процессе изменения колеи. Колесные пары тележек, находящихся на переходном участке, ввиду вывешивания колес не могут создавать тягового усилия. Но поскольку опытный поезд имеет шесть тележек, а колея одновременно меняется не более чем у трех, силы тяги остальных достаточно для продвижения поезда через установку.

Предусмотрено, что скорость прохода через установку изменения колеи в условиях обычной эксплуатации не превысит 15 км/ч. Так как изменение колеи будет осуществляться на станциях, где и так предусмотрена остановка поезда, это не вызовет ощутимого увеличения времени поездки.

Длина каждого концевого вагона опытного электропоезда 22725 мм, промежуточного 20500 мм, расстояние между центрами тележек всех вагонов 14150 мм. Цельнонесущие кузова вагонов изготовлены из алюминийево-

го сплава. Пассажи́рские салоны герметизированы во избежание перепадов давления воздуха при следовании в тоннелях и встречах поездов, движущихся с высокой скоростью.

На опытном поезде в салонах вместо кресел временно установлена аппаратура (всего около 400 датчиков и устройств обработки информации) для измерения и регистрации во время испытаний таких параметров, как токи и напряжения, температура, ускорения, смещения конструктивных элементов и напряжения в них.

Самым существенным нововведением является конструкция тележек и особенно колесных пар и колесно-моторных блоков. Как видно из принципа работы установки, у колесных пар отсутствует постоянное закрепление колес на осях. Оси неподвижны, колеса свободно вращаются вокруг них на втулках, имеют возможность пере-

перемещать вдоль осей и фиксируются в одном из двух положений.

Отсутствует также механизм передачи тягового усилия от тяговых двигателей на колеса – двигатель и смежное колесо колесной пары

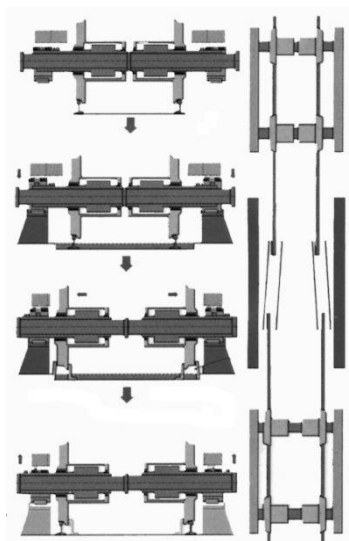


Рисунок 8.2 – Схема установки для изменения ширины колеи подвижного состава

представляют единый блок с непосредственной передачей крутящего момента (разработан



Рисунок 8.3 – Общий вид установки

также вариант, пока не реализованный, с традиционной тяговой передачей). Оси каждой тележки связаны Z-образными тягами, обеспечивающими их радиальную установку при проходе кривых.

Тяговые двигатели мощностью 85 кВт представляют собой трехфазные синхронные электрические машины с постоянным магнитом. В тяговом приводе с индивидуальным регулированием режимов

работы каждого двигателя использованы преобразователи на базе биполярных транзисторов с изолированным затвором.

На основании результатов испытаний будут определены составность и основные параметры электропоезда в обычной эксплуатации, отработана конструкция узлов, агрегатов и принято решение о серийном выпуске.

Вагонные тележки с раздвижными колесами применяются в Японии, Испании, Болгарии, Польше. Между Польшей и Литвой курсирует пассажирский поезд, в вагонах которого расстояние между колесами на оси изменяется при переходе с одной колеи на другую.

Для непрерывного следования поездов между Россией и Германией на Калининградской железной дороге сооружается устройство по системе TALGO для перехода с колеи 1520 мм на 1435 мм.

К настоящему времени в мире существуют два центра, где достаточно успешно ведутся работы по созданию высокоскоростного наземного транспорта на магнитном подвесе (маглев): Германия и Япония.

*Маглев* (от англ. *magnetic levitation* – магнитная левитация) – это поезд на магнитном подвесе, движимый и управляемый силой электромагнитного поля. Такой состав, в отличие от традиционных поездов, в процессе движения не касается поверхности рельса. Так как между поездом и поверхностью движения существует зазор, трение исключается, и единственной тормозящей силой является аэродинамическое сопротивление. Относится к монорельсовому транспорту.

Скорость, достижимая маглевом, сравнима со скоростью самолёта и позволяет составить конкуренцию воздушному транспорту на ближне- и среднемагистральных направлениях (до 1000 км). Хотя сама идея такого транспорта не нова, экономические и технические ограничения не позволили ей развернуться в полной мере: для публичного использования технология воплощалась всего несколько раз. В настоящее время, маглев не может использовать существующую транспортную инфраструктуру, хотя есть проекты с расположением магнитных элементов между рельсами обычной железной дороги или под полотном автотрассы.

Достоинства: теоретически самая высокая скорость из тех, которые можно получить на общедоступном (не спортивном) наземном транспорте; огромные перспективы по достижению скоростей, многократно превышающие скорости, используемые в реактивной авиации (при уменьшении аэродинамического сопротивления путем помещения состава в туннель с глубоким вакуумом); низкий уровень шума.

Недостатки: высокая стоимость создания и обслуживания колеи (стоимость постройки одного километра маглев-колеи сопоставима с проходкой километра тоннеля метро закрытым способом); вес магнитов; потребление электроэнергии. Создаваемое магнитной подвеской электромагнитное поле может оказаться вредным для поездных бригад и окрестных жителей. Даже тяговые трансформаторы, применяемые на электрифицированных переменным током железных дорогах, вредны для машинистов, но в данном случае напряжённость поля получается на порядок больше. Рельсовые пути стандартной ширины, перестроенные под скоростное движение, остаются доступными для обычных пассажирских и пригородных поездов. Путь маглева ни для чего другого не пригоден, потребуются дополнительные пути для низкоскоростного сообщения.

## **9 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ВВЕДЕНИЮ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ПЕЗДОВ НА СУЩЕСТВУЮЩИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ**

Для реализации поставленной цели, используется метод наискорейшего спуска, суть которого сводится к следующему:

- производится деление линии на участки с существующими ограничениями скорости движения пассажирских поездов;
- выявляются причины ограничения скорости;
- намечаются мероприятия по увеличению скорости движения поездов за счет модернизации и реконструкции устройств дороги;

- каждый участок, на котором необходимо увеличить скорость, рассматривается как состояние подсистемы с соответствующим уровнем скорости.

Расчетное состояние – 0 (существующее).

Допускаемые скорости движения поездов при существующем техническом оснащении определяются приказом начальника Белорусской железной дороги.

Расчетное состояние – 1.

Допускаемые скорости движения поездов определяются повышением их до максимального уровня, используя модернизацию основных устройств дороги.

Расчетное состояние – 2.

Для реализации этого состояния проводятся мероприятия по реконструкции плана линии.

Расчетное состояние – 3.

Состояние предусматривает проведение работ по снятию ограничений скорости за счет переустройства промежуточных станций.

Модернизация основных устройств дороги предусматривает: проведение капитального ремонта, усиление земляного полотна, замену пролетных строений мостов, реконструкцию труб, устранение негабаритности контактной сети, перестановку сигналов автоблокировки, реконструкцию пассажирских платформ.

На участках значительного протяжения может иметь место сверхнормативный износ пути, который ограничивает скорости движения поездов. В результате проведения капитального ремонта верхнего строения пути снимаются ограничения скорости на станциях и перегонах, установленные по этой причине. Скорость прохождения стрелочных переводов на боковой путь, расположенных на прямых участках пути составляет как минимум 120 км/ч. Скорости прохождения кривых и стрелочных переводов в кривых определяются в соответствии с нормативными документами. Следует отметить, что при проведении капитального ремонта предусматривается приведение длин переходных кривых в расчетное положение, если позволяют длины прямых вставок между кривыми.

Как показал анализ, искусственные сооружения на дорогах обеспечивают скорости их прохождения 120 км/ч и выше. На некоторых из них необходима замена пролетных строений, укрепление опор и другие мероприятия, позволяющие увеличить скорость движения.

При осмотре земляного полотна определяются места осадок, размывов, пучин, трещин, сдвигов и сплывов откосов, завывшения крутизны откосов, заужения основной площадки земляного полотна.

Должны быть устранены все дефекты и деформации земляного полотна, проведены при необходимости его усиление или капитальный ремонт, включая обустройства. Все противодеформационные сооружения должны быть освидетельствованы, отремонтированы, восстановлены или заменены в соответствии с проектом.

При капитальном ремонте земляного полотна должны быть выполнены следующие работы:

- устранены деформации основной площадки, в том числе балластные углубления в виде балластных корыт, лож, мешков;

- ликвидированы просадки, снижающие стабильность верхнего строения пути и устойчивость опор контактной сети;

- устранено пучение;

- обеспечена общая и местная устойчивость откосов насыпей и выемок в местах, где происходили ранее сплывы и оползания, а также имеется возможность их появления по прогнозам инженерно-геологического обследования;

- защищено земляное полотно от неблагоприятных проявлений физико-геологических процессов, в том числе от оползней, скальных обвалов, снежных лавин, размывов, шахтных подработок и распространения карста.

На скоростных участках пересечения железнодорожных путей с автомобильными дорогами в одном уровне (переезды) должны заменяться в плановом или установленном расчетом порядке пересечениями в разных уровнях.

На некоторых участках Белорусской железной дороги направления Брест – Красное скорость 120 км/ч по причине негабаритности контактной сети. На этих участках необходимо провести работы по устранению негабаритности, после которых скорость движения увеличится до 200 км/ч.

Реконструкция плана линии предусматривает увеличение радиусов кривых, прямых вставок, замену прямых вставок одной кривой, спрямление трассы и другие мероприятия.

Для повышения скорости на станциях необходима замена стрелочных переводов на переводы более пологих марок или с подвижным сердечником крестовины.

По каждому участку (на котором необходимо поднять скорость движения) намечаются мероприятия, позволяющие повысить скорость и определяются необходимые для осуществления этого капитальные вложения К.



Определяется время движения поезда по состоянию 0 (существующие ограничения скорости) и состояниям, на которых намечено повышение скорости. Вычисляется сокращение времени хода  $\Delta t$  в результате снятия ограничения скорости. Рассчитывается показатель  $\mu = \frac{K}{\Delta t}$  по всем состояниям.

Состояния располагаются в последовательности возрастания  $\mu$ . В полученной последовательности определяются  $\sum \Delta t$  и  $\sum K$ . Строится график зависимости  $\sum K = f(\sum \Delta t)$  (рисунок 9.1).

По графику определяются:

- наибольшее сокращение времени хода  $t_{\text{наиб}}$  при выделенных инвестициях на модернизацию и реконструкцию дороги  $K_v$  с определением последовательности участков модернизации и реконструкции;
- необходимые инвестиции  $K_n$  для получения заданного сокращения времени движения  $t_s$  и последовательность работ, которые нужно для этого выполнить.

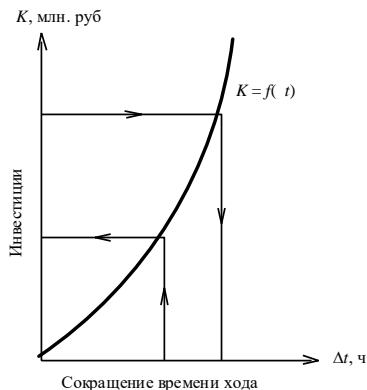


Рисунок 9.1 – Зависимость  $\sum K = f(\Delta t)$

## 10 ВЛИЯНИЕ ВОЗВЫШЕНИЯ НАРУЖНОГО РЕЛЬСА НА СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

### 10.1 Методы определения возвышения наружного рельса

Результаты проведения измерений показывают избыточное возвышение наружного рельса на многих существующих кривых, что вызывает при движении грузовых поездов большие отрицательные непогашенные ускорения. Вследствие этого происходит повышенный боковой износ рельсов наружной нити и снижается устойчивость колеса на рельсе у подвижного состава с высоким центром тяжести.

Такое положение стало возможным из-за того, что на дорогах максимальные скорости установлены без учета тяговых возможностей локомотивов и постоянно действующих длительных ограничений скорости.

В настоящее время возвышение наружного рельса в кривой определяется по двум формулам:

- расчетное 
$$h = 12,5 \frac{v^2}{R}; \quad (10.1)$$

- минимальное 
$$h = 12,5 \frac{v_{\max}^2}{R} - 115, \quad (10.2)$$

где  $v$  – средневзвешенная скорость движения поездов, км/ч;

$R$  – радиус круговой кривой, м;

$v_{\max}$  – максимальная скорость самого скорого поезда на кривой, км/ч.

Применение этих формул обосновывается условиями:

- равнонагруженностью наружного и внутреннего рельсов;
- минимизацией горизонтальных воздействий на путь при движении поездов с непогашенным ускорением.

Возвышение должно устраиваться в кривых участках пути радиусом 4000 м и менее. Максимальная величина возвышения не должна превышать 150 мм. Перерасчёту подлежат возвышения в кривых, в которых наблюдаются повышенный износ рельсов по одной из ниток, интенсивные расстройства по ширине колеи и направлению в плане, допускаемые скорости по возвышению и его отводу не соответствуют друг другу, начало и конец отводов по кривизне и возвышению не совпадают более, чем на 10 м, реализуемые скорости на 10–15 % отличаются от максимальных, установленных дорожным приказом, или от ранее принятых в расчете возвышения, в том числе и из-за введения длительных ограничений скорости, а также кривые на участках запланированных капитальных работ.

Величина возвышения в круговой кривой определяется начальником дистанции пути и утверждается начальником железной дороги.

Величина возвышения в кривой в мм определяется по формулам:

- для пассажирского поезда

$$h_{\text{р.пас}} = 12,5 \frac{v_{\max \text{ пас}}^2}{R} - 115, \quad (10.3)$$

- для грузового поезда

$$h_{\text{р.гр}} = 12,5 \frac{v_{\max \text{ груз}}^2}{R} - 50, \quad (10.4)$$

- для потока поездов

$$h_{\text{р.пот}} = 12,5 \frac{v_{\text{пр}}^2}{R}, \quad (10.5)$$

Где  $v_{\max \text{ пас}}$  и  $v_{\max \text{ гр}}$  – максимальные скорости, соответственно, пассажирского и грузового поезда, установленные в кривой по приказу начальника дороги, км/ч;

$v_{\text{пр}}$  – приведенная скорость поездопотока, км/ч;

$R$  – радиус круговой кривой, м.

Из рассчитанных по формулам (10.3)–(10.5) значений принимается большая величина возвышения наружного рельса.

Для многорадиусных кривых величина возвышения рассчитывается по минимальному радиусу, полученному после расчета выправки кривой. При этом для других радиусов должно обеспечиваться соблюдение нормативов по предельным непогашенным ускорениям.

Величина радиуса может быть определена по ленте путеизмерителя ЦНИИ – 2 по приближённой формуле (для масштаба записи 1:2):

$$R = \frac{17758}{f}, \quad (10.6)$$

где  $f$  – расстояние по вертикали на ленте между нулевой линией, соответствующей прямому участку пути и средней линией, проведенной на записи рихтовки для всей круговой кривой или её части.

Соотношение величин  $R$  и  $f$  представлено в таблице 10.1. При измерении параметров устройства пути в кривых путеизмерителем ЦНИИ – 4 автоматически определяются значения  $R$  и  $h$  по длине кривой и на печать выдается максимальная допустимая скорость движения.

Эти условия справедливы для движения грузовых и пассажирских поездов с близкими скоростями, при эксплуатации пути по незакаленным рельсам легких типов. В этом случае вертикальный износ преобладающий.

Так как в настоящее время применяются объемнозакаленные рельсы тяжелых типов,

то вертикального износа практически нет. Поэтому определение возвышения по формуле (10.1) нецелесообразно. Повышение скорости движения пассажирских поездов привело к тому, что возвышение в большинстве случаев в кривых радиусом менее 1200 м подсчитывается по формуле (10.2), хотя максимальную разрешенную скорость развивали только опаздывающие поезда, чтобы нагнать время. При этом фактические скорости грузовых поездов остались в пределах от 45 до 55 км/ч. В результате во многих кривых возвышение оказалось избыточным и грузовые поезда идут с большим непогашенным ускорением. Из-за перекосного положения в колее возрос боковой износ рельсов. Кроме того, при таком ускорении неисправности подвижного состава, в частности перекося котла цистерн, могут привести к сходам колес с рельсов.

Нередко максимальные скорости устанавливают без учета тяговых возможностей локомотивов, в первую очередь на затяжных подъемах. Все

Т а б л и ц а 10.1 – Соотношение величин  $R$  и  $f$

$R, \text{ м}$	$f, \text{ м}$	$R, \text{ м}$	$f, \text{ м}$
400	44	700	25
450	39	800	22
500	36	900	20
550	32	1000	18
600	30	1200	14

это потребовало увязать скорости движения грузовых и пассажирских поездов.

При определении оптимального возвышения следует руководствоваться разработанной ВНИИЖТом и Департаментом пути и сооружений РФ «Методикой определения возвышения наружного рельса в кривых участках пути», предназначенной для определения величины возвышения наружного рельса в круговых кривых, расположенных на эксплуатируемых путях.

Подсчитываются возвышения наружного рельса по формулам (10.3) – (10.5) при различных значениях  $v_{\max \text{ пас}}$ ,  $v_{\max \text{ гр}}$ ,  $v_{\text{пр}}$  и радиусах  $R$ . Результаты расчетов сводятся в таблицы 10.1–10.3.

Величина приведенной скорости поездопотока для расчета возвышения наружного рельса по формуле (10.5) определяется по формуле

$$v_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n n_i Q_i v_i^2}{\sum_1^n n_i Q_i}}, \quad (10.7)$$

где  $n_i$  – число поездов;

$Q_i$  – масса поезда, т;

$v_i$  – фактическая скорость движения поезда, км/ч.

Т а б л и ц а 10.2 – Возвышения наружного рельса, рассчитанные по формуле (10.3)

В миллиметрах

Радиус кривой, м	Максимальная скорость пассажирского поезда $v_{\max \text{ пас}}$ , км/ч						
	80	100	120	140	160	180	200
500	45	135					
600	18	93					
800	-	41	110				
1000	-	10	65	130			
1200	-	-	35	89			
1500	-	-	5	48	98		
2000	-	-	-	8	45	88	
2500	-	-	-	-	13	47	85

Т а б л и ц а 10.3 – Возвышения наружного рельса, рассчитанные по формуле (10.4)

В миллиметрах

Радиус кривой, м	Максимальная скорость грузового поезда $v_{\max \text{ гр}}$ , км/ч				
	60	70	80	90	100
300	100				
500	40	75	110	150	
600	25	52	83	119	
800	6	27	50	76	106

1000	-	11	30	51	75
1200	-	1	17	34	54
1500	-	-	3	18	33
2000	-	-	-	1	13
2500	-	-	-	-	0

Т а б л и ц а 10.4 – Возвышения наружного рельса, рассчитанные по формуле (10.5)

В миллиметрах

Радиус кривой, м	Максимальная скорость потока поездов $v_{\max \text{ пот}}$ км/ч					
	40	50	60	70	80	100
300	67	104	150	-	-	-
500	40	63	90	143	-	-
600	33	52	75	102	133	-
800	25	39	56	77	100	-
1000	20	31	45	61	80	126
1200	17	26	38	51	67	120
1500	13	21	30	41	53	83
2000	10	16	23	31	40	63
2500	8	13	18	25	32	50

Фактические скорости определяются на основании обработки скоростемерных лент. Производится отбор по 5 скоростемерным лентам в месяц в течение не менее 6 месяцев по каждому виду поездов и по ним определяется скорость каждого конкретного поезда, реализованная в кривой.

Из полученных по формулам 10.3–10.5 значений расчетных возвышений принимается большее. Если за возвышение принимается величина, определенная по формулам 10.4 или 10.5, то максимальная скорость рассчитывается по формуле

$$v_{\max} = 3,6\sqrt{R(a_{\text{нп}} + 0,0061h)}, \quad (10.8)$$

где  $h$  – принятое расчетное возвышение, определенное по формулам 10.4 или 10.5;

$a_{\text{нп}}$  – допускаемая величина непогашенного ускорения пассажирского скоростного поезда в круговой кривой.

Принятое расчетное возвышение округляется до 5 мм. Максимальное значение возвышения не должно превышать 150 мм.

## 10.2 Сферы рационального соотношения скоростей при определении возвышения наружного рельса

При определении возвышения по формуле (10.3) рациональная работа пути обеспечивается при скоростях движения потока грузовых поездов, лежащих в пределах

$$\sqrt{v_{\max \text{ пас}}^2 - 5,2R} \geq v_{\text{п.гр.ф}} \sqrt{v_{\max \text{ пас}}^2 - 13R}, \quad (10.9)$$

где  $v_{\text{п.гр.ф}}$  – фактическая скорость потока грузовых поездов, км/ч, определяется по методике, изложенной в пункте 9.1, с обработкой только скоростемерных лент грузовых поездов.

Выражение (10.9) соответствует уровню непогашенных ускорений грузовых поездов. Как показали исследования, поле допусков непогашенного ускорения для грузовых поездов составляет  $\pm 0,3 \text{ м/с}^2$ .

Если фактическая скорость потока грузовых поездов  $V_{\text{п.гр.ф}}$  не соответствует формуле (10.9), например, на руководящих подъемах и в местах действия длительных предупреждений, то рекомендуется определять максимальную скорость пассажирских поездов по формуле

$$v_{\max \text{ пас}} = \sqrt{v_{\max \text{ пас}}^2 + 13R}. \quad (10.10)$$

При определении величины возвышения по формуле (10.4) необходимо провести проверку нахождения фактических скоростей потока грузовых поездов в пределах диапазона рациональных скоростей

$$v_{\text{п.гр.ф}} = \sqrt{v_{\max \text{ гр}}^2 - 7,8R}. \quad (10.11)$$

Если фактическая скорость потока грузовых поездов  $v_{\text{п.гр.ф}}$  ниже, чем определенная по формуле (10.10), то рекомендуется определять максимальную скорость пассажирских поездов по формуле (10.9), проверить соотношение максимальных скоростей пассажирских и грузовых поездов по формулам

$$v_{\max \text{ пас}} = \sqrt{v_{\max \text{ гр}}^2 + 5,2R}; \quad (10.12)$$

$$v_{\max \text{ гр}} = \sqrt{v_{\text{п.гр.ф}}^2 + 7,8R}. \quad (10.13)$$

После корректировки максимальных скоростей грузовых и пассажирских поездов повторяется расчет возвышения наружного рельса.

При определении возвышения по формуле (10.5) необходимо проверить соотношения фактической скорости потока грузовых поездов или максимальных скоростей по формулам (10.9) и (10.11) и при необходимости ввести ограничения максимальных скоростей с соответствующим пересчетом возвышения или разработать меры по повышению скоростей грузовых поездов.

### **10.3 Анализ результатов определения возвышения наружного рельса по различным методикам**

Для условий эксплуатации участка Брест – Барановичи с исходными данными  $v_{\max \text{ пас}} = 120$  км/ч,  $v_{\max \text{ гр}} = 80$  км/ч,  $v_{\text{гр}} = 65$  км/ч,  $v_{\text{гр ф}} = 60$  км/ч подсчитываются возвышения наружного рельса по двум методикам (по формулам (10.1–10.5)) для различных радиусов кривых. Результаты расчета сведены в таблицу 10.5. Также определяются абсолютные и относительные изменения возвышения наружного рельса. Их результаты сводятся в таблицу 10.6.

Т а б л и ц а 10.5 – **Возвышения наружного рельса  $h$**

В миллиметрах

Возвышения	Радиус кривой, м				
	800	1000	1200	1500	2000
По методике профессора Шахунянца	147	117	98	78	59
По методике ВНИИЖТа,	85	65	44	35	26

Т а б л и ц а 10.6 – **Изменение возвышения наружного рельса**

В миллиметрах

Изменение возвышения	Радиус кривой, м				
	800	1000	1200	1500	2000
Абсолютное, $\Delta h = h - h_1$ , м	62	52	54	43	33
Относительное, $(\Delta h / h) \cdot 100 \%$	42	44	55	55	56

Возвышение наружного рельса по Г.М. Шахунянцу имеет завышенные значения, так как при его определении принято движение поездов с непогашенным ускорением  $\pm 0,3$  м/с<sup>2</sup>. Это ускорение принято с таким условием, чтобы уменьшить износ рельсов при проходе грузовых поездов. Однако занижение возвышения наружного рельса предполагает и уменьшение скоростей движения пассажирских поездов, что является нецелесообразным. Относительное изменение возвышений наружного рельса с увеличением радиуса кривой возрастает незначительно.

## **11 НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ШУМОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ**

Эксплуатация высокоскоростной железной дороги (ВСМ) вызывает неблагоприятное влияние на окружающую природную среду по следующим параметрам:

- загрязнение атмосферного воздуха;
- загрязнение почвы;
- электромагнитное излучение;
- шумовое и вибрационное воздействие.

Указанные влияния неравнозначны. Многие исследователи вообще отмечают только шумовое воздействие при эксплуатации ВСМ.

По условиям шумозащиты наземную трассу ВСМ проектируют на достаточном расстоянии от жилой застройки, чтобы с учетом компенсационных мероприятий уровень шума на жилой территории не превышал требований санитарных норм, предусмотренных СНБ. Исходя из зарубежного опыта, при скоростях движения 300 км/ч ширина санитарно-защитной зоны, предусмотренная указанными строительными нормами, должна быть увеличена примерно на 250–300 м, а с учетом возможности движения поездов ночью – до 500–1000 м. В зонах крупных поселков, входов в города и другие места с большой плотностью населения в качестве шумозащитного мероприятия может быть размещение железной дороги в выемках, в том числе – в перекрытых.

По условиям виброзащиты размещение пути в тоннелях мелкого заложения должно быть на расстоянии от зданий не ближе 40 м.

Высокоскоростные магистрали на всем протяжении ограждаются: в пределах населенных пунктов – сплошными шумозащитными стенками (щитами), на остальном протяжении – сетчатыми заборами. В ограждении устраиваются проходы (не менее одного на километр), исключая возможность несанкционированного попадания на путь людей и животных.

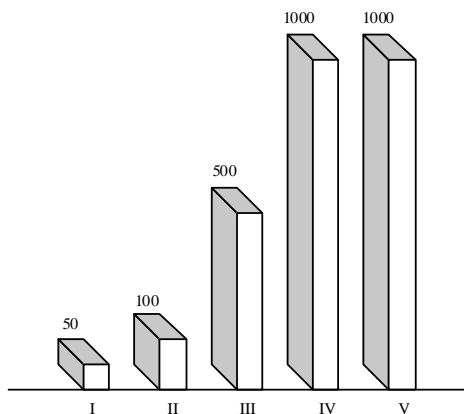


Рисунок 11.1 – Индукция магнитного поля системы Transrapid (в теслах) в сравнении с бытовыми приборами и естественным фоном Земли:  
I – естественный магнитный фон;  
II – система Transrapid;  
III – цветной телевизор;  
IV – фен;  
V – электрическая печь

Воздействие магнитного поля на пассажиров высокоскоростного поезда Transrapid и окружающую среду незначительно. Его величина сравнима с естественным магнитным полем Земли и лежит существенно ниже уровня магнитных полей, излучаемых бытовыми



электроприборами (см. рисунок 11.1). Обычные фен, тостер или электрическая швейная машина создают несравнимо более сильное магнитное поле, чем в салоне поезда. Вдоль трассы оно еще слабее.

Шум, создаваемый движущимся подвижным составом, отрицательно влияет на поездную бригаду (машиниста, проводников), обслуживающий персонал и жителей близлежащих жилых районов. От его неблагоприятного воздействия происходят изменения физиологических функций организма, величина которых зависит от интенсивности шума, частотного спектра и продолжительности влияния. Шум приводит к снижению умственной работоспособности и внимания, увеличению времени реакции, повышению порога слышимости, преждевременному утомлению, снижению чувствительности зрения и нарушению нормального цветоощущения.

В соответствии с действующими нормами и правилами эквивалентные уровни звука на границе жилой застройки не должны превышать 55 дБА в дневное и 45 дБА в ночное время, максимальные уровни звука соответственно 70 и 60 дБА. Если фасады домов обращены непосредственно к железнодорожным путям, то эти значения допускается увеличивать на 10 дБА.

Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива должен составлять не более 79 дБА при интенсивности движения 20 пар пассажирских поездов. По результатам измерений определено, что при скорости 200 км/ч абсолютный уровень шума от токоприемника равен 94 дБ(А), а от колес с шумопоглотителями 92 дБ(А).

Шум, излучаемый железнодорожным подвижным составом, подразделяется на три категории: шум качения (контакт колеса с рельсом), скрежет (при прохождении поездами кривых малого радиуса) и динамический шум (от ударных нагрузок на стыках). На магистральных линиях шум от качения колес по рельсам излучают поезда дальнего сообщения. Уровень шума, излучаемого региональными поездами, несколько ниже, еще большее снижение наблюдается у высокоскоростных поездов ИСЭ, поскольку проблеме шума уделялось внимание на всех этапах разработки этих поездов.

Причиной возникновения шума от качения колес по рельсам являются неровности поверхностей катания колеса и рельса.

С целью исследования компонентов, оказывающих наибольшее влияние на шумообразование в процессе качения колеса по рельсу, были выполнены расчеты для типовых рельса и колесной пары. На рисунке 11.2 показаны уровни шума, измеренные на расстоянии 3,7 м от места контакта колесо-рельс. Видно, что в разных диапазонах частот преобладают шумы разных компонентов системы колесная пара – путь. Ниже 400 Гц доминирующим источником шума являются шпалы. Затем во всем диапазоне от 400 до 1600 Гц

превалирует шум рельсов. В частотном диапазоне выше 2000 Гц основным источником становятся колесные диски.

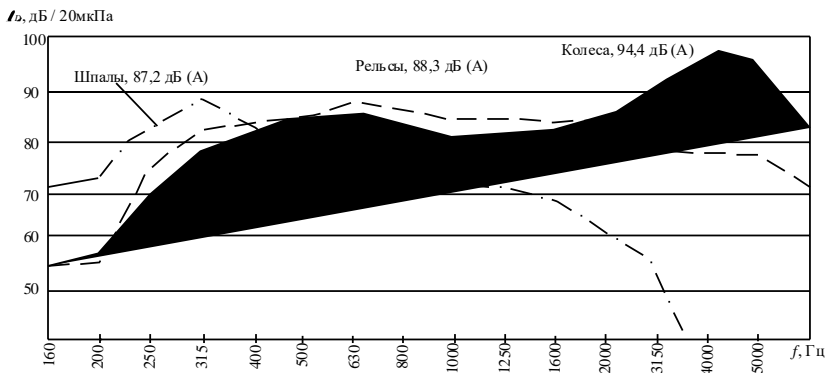


Рисунок 11.2 – Уровни шума, излучаемого шпалами, колесами и рельсами, измеренные на расстоянии 3,7 м от наружного рельса:  
 $L_D$  – уровень шума;  $f$  – частота

В отношении рельсов учитывается форма колебаний с узловыми точками над шпалами (на рельсовых скреплениях), при которых как подошва, так и шейка рельса возбуждают в шпальном ящике колебания высокой амплитуды, направленные поперечно и вертикально.

На железных дорогах восприятие шума все в большей степени связывается с проектами новых линий, особенно высокоскоростных. Общее повышение скорости движения поездов играет определенную роль в снижении шума.

Высокая стоимость обычных ограждений и шумозащитных барьеров означает, что решающим становится контроль источников зарождения шума. В числе последних новшеств – новые конструкции пути – малозумный путь.

Предметом особого внимания является шум на частотах от 20 Гц до 20 кГц, как воспринимаемый человеческим ухом. Волны шума генерируются по одному из двух механизмов: вибрациями твердого тела или колебаниями давления воздуха.

Оба эти явления имеются на железных дорогах. Для высокоскоростного движения характерен аэродинамический шум, генерируемый неустановившимися воздушными потоками, особенно в лобовых частях поездов, межвагонных соединениях, на тележках, в крышном оборудовании, например токоприемниках. Однако механические составляющие все еще преобладают в общем шуме при движении со скоростью

до 300 км/ч. Наиболее значимым источником шума является контакт колеса и рельса.

Одним из путей снижения шума является уменьшение неровностей колес и рельсов. Этот путь стимулирует инициативы МСЖД по внедрению на железных дорогах Европы композиционных тормозных колодок для грузовых поездов. Такие колодки не вызывают появления шероховатости на поверхности колес в соответствующем диапазоне длин волн, тогда как чугунные колодки приводят к образованию волнообразных неровностей. Аналогично общепринятым является шлифование рельсов для удаления их волнообразного износа. Например, в Германии практикуется шлифование по акустическим соображениям на определенных участках с установленным низким уровнем шума.

Два очень важных и взаимосвязанных параметра, которые влияют на распространение путевого шума, – это жесткость рельсовых подкладок и степень затухания вибраций вдоль рельса. Жесткие подкладки требуют совпадения колебаний рельса и шпалы в широком диапазоне частот. Мягкие подкладки акустически изолируют шпалу на частотах выше некоторого порогового уровня. Чем меньше жесткость подкладки, тем ниже этот частотный порог. Поэтому мягкие подкладки эффективно изолируют шпалы и основание пути от вибраций рельсов, уменьшая составляющую шума, вызываемую колебаниями шпал. Поскольку расчетная функция подкладки частично состоит в защите шпалы и балласта от высоких ударных нагрузок, в последние годы все чаще используют более мягкие подкладки.

Более мягкие подкладки вызывают вибрацию рельса, распространяющиеся с меньшим ослаблением. Поскольку при проходе каждого колеса колебания распространяются по все большей длине рельса, последний генерирует больше шума. Поэтому достигается компромисс между изолирующими и ослабляющими свойствами подкладки.

Путь на плитном основании все больше используется на магистральных линиях, особенно на высокоскоростных линиях Германии. Уровень шума на пути таких конструкций обычно на 3–5 дБ выше, чем на обычном балластном пути, что обусловлено двумя причинами. Во-первых, имеется тенденция к использованию в таких конструкциях более мягких рельсовых скреплений для получения упругости, обычно создаваемой балластом. Во-вторых, плитное основание имеет твердую шумоотражающую поверхность, тогда как поверхность балласта обладает звукопоглощающими свойствами.

Исследованные в Германии мероприятия включают нанесение поглощающего материала на верхнюю поверхность плиты. Эта мера снижает шумоизлучение с поверхности. Ограждение рельсов, например, с помощью интегрированных в конструкцию пути мини-барьеров помогает достичь дополнительного ослабления шума. Указанными мерами снижается шум пути на плитном основании до уровня шума пути на балласте.

При движении подвижного состава в кривых малого радиуса генерируется скрежет, в котором доминируют узкополосные шумы с частотами от 500 Гц до 8 кГц. Уровень их громкости выше, чем обычный уровень шума от качения колес по рельсам на прямолинейном участке при прочих равных условиях. Скрежет в кривых возникает тогда, когда колесная пара из-за разных радиусов качения колес не катится по рельсам без проскальзывания. Меры по предотвращению или уменьшению скрежета предпринимаются на различных стадиях генерирования этого шума. При этом соблюдаются определенные требования, такие, как минимально допустимое значение коэффициента трения, умеренные эксплуатационные расходы жизненного цикла, а также типовые условия железнодорожной сети и реализуемых в ней эксплуатационных процессов. При использовании смазочных средств должна подтверждаться их экологическая безвредность.

Для предотвращения скрежета на подвижном составе используются следующие решения: колеса, вращающиеся на оси, классические колесные пары с радиальной установкой колес, колесные шумопоглотители (абсорберы), смазывание гребня бандажа или поверхности катания колеса. Предпринимаются мероприятия со стороны пути, такие, например, как смазка внутренней грани или поверхности катания рельса, его шумоизоляция, совершенствование систем рельсовых скреплений и применение рельсов различного профиля для внутреннего и наружного рельсов в кривых. По сравнению с воздушным и автомобильным транспортом железнодорожный оказывает меньшее вредное воздействие на окружающую среду по всем факторам влияния, за исключением одного – шума.

Для снижения уровня шума высокоскоростного пассажирского подвижного состава является применение колесных шумопоглотителей. Форма колеса в большой степени определяет уровень генерируемого им шума, является важным влияющим параметром. На сегодняшний день уже проведены успешные испытания колеса оптимизированной по уровню шума конструкции.

Применение в конструкции шумозащитных стен у железнодорожных путей акрилового стекла толщиной до 20 мм позволяет эффективно снизить шум. Такое стекло имеет большой срок службы и длительное время сохраняет прозрачность.

Уменьшается шум и организационными методами, такими как рациональное размещение шумящего оборудования, его заменой и применением средств акустической диагностики. Снижение структурного (корпусного) шума достигается путем применения упругих муфт, виброзадерживающих вставок, амортизаторов, виброгасителей и

вибропоглощающих покрытий. На вагонах устанавливаются дисковые тормоза, на внутренних поверхностях колес вагонов – звукопоглощающие элементы, совершенствуется аэродинамическая форма кузова, смазываются рельсы.

В районах жилой застройки приняты специальные градостроительные меры. Экранирующие здания со специальной планировкой позволяют снизить шум в нормируемых помещениях на 20–25 дБА.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Строительно-технические нормы МПС РФ. Железные дороги колеи 1520 мм. СТН Ц-01-95. – М. : МПС России, 1995. – 86 с.

2 Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт. В прошлом, настоящем и будущем. Т. 1 / В. И. Ковалев [и др.] ; под ред. В. И. Ковалева. – СПб. : Питер, 2001. – 320 с.

3 Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт. Т. 2 / В. И. Ковалев [и др. ] ; под ред. В. И. Ковалева. – СПб. : Питер, 2003. – 448 с.

4 Основы проектирования, строительства и реконструкции железных дорог : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Ю. А. Быков [и др.] ; под ред. Ю. А. Быкова. – М. : Маршрут, 2009. – 448 с.

5 **Кантор, И. И.** Высокоскоростные железнодорожные магистрали: трасса, подвижной состав, магнитный подвес / И. И. Кантор. – М. : Маршрут, 2004. – 51 с.

6 **Кантор, И. И.** Проектирование высокоскоростных железнодорожных магистралей : пособ. по курс. и дипл. проектир. / И. И. Кантор. – М. : МИИТ, 1996. – 67 с.

Учебное издание

*ДОВГЕЛЮК* Наталья Владимировна  
*РУДЕНКО* Татьяна Алексеевна

**Скоростные железнодорожные магистрали**

Учебно-методическое пособие по курсовому  
и дипломному проектированию для студентов  
специальности «Строительство железных дорог,  
путь и путевое хозяйство»

Редактор И. И. Э в е н т о в  
Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а  
Корректор Т. А. П у г а ч

Подписано в печать 16.12.2011 г. Формат 60x84  $\frac{1}{6}$   
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,58. Тираж 400 экз.  
Зак. № . Изд. № 132

Издатель и полиграфическое исполнение  
Белорусский государственный университет транспорта:  
ЛИ № 02330/0552508 от 09.07.2009 г.  
ЛП № 02330/0494150 от 03.04.2009 г.  
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.