

## Лекция 14

### **Особенности проектирования высокоскоростных магистралей. Проектные разработки ВСМ в СССР и России. План и продольный профиль ВСМ. Подвижной состав ВСМ**

Содержание:

1. Трассы высокоскоростных магистралей
2. План и продольный профиль высокоскоростных магистралей
  - 2.1. Нормы проектирования ВСМ в России
3. Проектирование ВСМ в условиях смешанного движения
4. Транспортные системы на магнитном подвесе

Литература

#### **1. Трасса высокоскоростных магистралей**

Перечислим основные требования к трассам ВСМ.

А) Поскольку основная цель ВСМ обеспечить минимальное время поездки, то трассу ВСМ стремятся проложить по кратчайшему направлению между опорными пунктами. Поэтому трасса может не заходить даже в достаточно крупные промежуточные населенные пункты.

Б) Наряду с этим, при проектировании необходимо обеспечить связь новой магистрали с существующей ж.д. сетью для доставки пассажиров в наиболее крупные центры, расположенные между станциями ВСМ.

С) На трассе ВСМ необходимо через 50-80 км располагать станции для базирования подразделений по ремонту и текущему содержанию пути, контактной сети и других подразделений по ремонту линейных устройств. И эти станции должны иметь выход на существующие ж.д. линии через соединительные ветки (для доставки ремонтной техники и строительных материалов).

Эти требования и определили основные принципы трассирования ВСМ.

Так например в проекте ЦЕНТР-ЮГ (от Москвы на Сочи, на Мин. Воды и на Семфинополь) не предусмотрен заход в Тулу, Орел, Белгород, Курск, а в местах пересечения ВСМ с сущ. сетью предусмотрены станции от которых \через соединительные пути предусмотрена связь с этими крупными центрами.

При пересечении ВСМ с железными и автомобильными дорогами, а также со скотопрогонами, пешеходными переходами, с путями миграции животных их проектируют в разных уровнях. Скоторогоны и полевые дороги могут быть пропущены в отверстия вродопропускных сооружений с соответствующим увеличением их габаритов.

По условиям шумозащиты наземную трассу ВСМ проектируют с учетом компенсационных мероприятий по снижению уровня шума в соответствии с требованиями СНИП 2.07.01 – 89\* «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений».

Ширина санитарно-защитной зоны должна быть увеличена при скоростях 300км/час с 250-300м до 500-1000 м на основе зарубежного опыта. В зонах крупных поселков, входов в города и другие места с большой плотностью населения в качестве шумозащитного мероприятия может быть размещение ж.д. линии в выемках, в том числе и в перекрытых.

По условиям виброзащиты ВСМ, расположенные в тоннелях мелкого заложения должны быть удалены от зданий не менее, чем на 40 м.

ВСМ на всем протяжении огораживаются:

- в пределах населенных пунктов сплошными шумозащитными стенками (щитами);
- на остальном протяжении сетчатыми заборами.

В ограждениях устраиваются проходы (не менее 1 на 1 км), исключаящие возможность несанкционированного поподания людей и животных на путь.

В районах с интенсивным земледелием для снижения ущерба сельскохозяйственным угодьям трассу ВСМ желательно прокладывать рядом с попутными коммуникациями (ж.д, а.д., линиями связи).

## **2. План и продольный профиль высокоскоростных магистралей**

### **2.1. Нормы проектирования ВСМ в России**

Согласно СТН Ц-01-95 проектирование магистралей со скоростями более 200 км/час должно выполняться по специальным нормам.

Для составления ТЭО строительства ВСМ Москва-Санкт-Петербург, предназначенной для движения со скоростями до 350 км/час, нормы

проектирования постоянных сооружений этой магистрали были утверждены в 1991 году. Эти нормы были разработаны на основании экспериментальных данных и теоретических исследований с учетом опыта эксплуатации и строительства зарубежных ВСМ.

### 2.1.1. Параметры плана

Для обоснования параметров плана во ВНИИЖТе МПС были выполнены исследования взаимодействия подвижного состава в прямых и кривых при скоростях до 300 км/час. Исследования были проведены для скоростного 8-осного локомотива.

Анализ результатов расчета направляющих сил в кривых, боковых сил и сил трения между колесами и головками рельсов определили целесообразность для высокоскоростого движения радиусов кривых 7000 м и в исключительных случаях – 4000м.

На ВСМ, специализированных для пассажирского движения возвышение наружного рельса должно удовлетворять двум требованиям:

А) обеспечить одинаковый вертикальный износ обоих рельсовых нитей;

Б) создавать комфортные условия для езды пассажиров, характеризуемые непогашенным поперечным ускорением.

При ширине колеи 1520 мм и расстоянии между кругами катания колес 1600мм возвышение наружного рельса, удовлетворяющее условию «А», определится по формуле

$$h = (12,5 * v_{cp}^2) / R \quad (1)$$

Где  $v_{cp}^2$  – средняя квадратичная скорость движения поездов в данной кривой, км/час.

Условие «Б» предусматривает, чтобы с учетом максимальной скорости в кривой величина возвышения наружного рельса была не менее значения

$$h = (12,5 * v_{max}^2) / R - \Delta h \quad (2)$$

где  $\Delta h = a_n * S / g$  – недостаток возвышения наружного рельса. При скоростях движения более 200км/час непогашенное ускорение принимают на уровне 0,4 м/с<sup>2</sup>, тогда  $\Delta h = 65$  мм.

Из зависимости (2) определим  $v_{max}$

$$v_{\max} = \sqrt{[(h + \Delta h)R]/12,5} = 4,15\sqrt{R}.$$

Используя, зависимость (2)

Можно определить каким должен быть радиус кривой при возвышении наружного рельса 150 мм и при недостатке возвышения наружного рельса 65 мм. В этом случае

$$R = 0,058 v_{\max}^2 \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что при  $v_{\max} = 300$  км/час, радиус кривой  $R = 5200$  м, а при  $v_{\max} = 350$  км/час, радиус кривой  $R = 7100$  м.

С учетом выше сказанного на дорогах России установлен радиус 7000 м, а в трудных условиях, при соответствующем технико-экономическом обосновании, - 4000 м ( $v_{\max} = 260$  км/час).

В качестве переходной кривой принимается радиоидальная спираль (клотойда). Отвод возвышения наружного рельса – линейный. Основным условием, ограничивающим уклон отвода возвышения наружного рельса является скорость поднятия колеса по возвышению применительно к самому быстроходному поезду. Она принята 42 мм/с.

Наибольший уклон отвода возвышения принят по аналогии с зарубежными трассами и равен 0,67‰.

Прямые вставки между смежными кривыми не менее 800 м при  $v_{\max} = 301-350$  км/час и не менее 600 м при  $v_{\max} = 200-300$  км/час.

Расстояние между осями главных путей принимается 4,5 м и на станциях и на перегонах.

### 2.1.2. Продольный профиль ВСМ

Нормами проектирования ВСМ наибольший продольный уклон принят 24‰, а при пересечении значительных высотных препятствий, при соответствующем обосновании может быть увеличен до 35‰.

Радиусы вертикальных кривых увеличены до 35-55 км.

Длины элементов переходной крутизны приняты 300-400 м,  $\Delta i_{\text{рек}} = 6\text{‰}$ ,  $\Delta i_{\text{доп}} = 10\text{‰}$ .

Вертикальные кривые следует размещать вне переходных кривых.

При  $\Delta i=1,6\%$  на выпуклых кривых и  $\Delta i=1,8\%$  на вогнутых элементах профиля – вертикальные кривые могут не устраиваться, так как биссектриса в этих случаях менее 1 см.

### 3. Проектирование ВСМ в условиях смешанного движения

Примером проектирования ВСМ в условиях смешанного движения является проект Москва-Казань.

В результате совместной работы специалистов отраслевых Вузов, ведущих НИИ страны и иностранных компаний были разработаны специальные ТУ по всем объектам инфраструктуры ВСМ.

В число ключевых нормативов входят СТУ «Проектирование участка ВСМ Москва-Казань- Екатеринбург о скоростями до 400км/час», пример структуры, которых показан в табл.1.

Таблица 1. Структура специальных технических условий для проектирования ВСМ

Содержание СТУ-1	СТУ, ключевые материалы которых включены в СТУ-1
Общие положения	
Термины и определения	
Нормативные ссылки	
Габариты приближения строений	
План пути	

Продольный профиль пути	
Земляное полотно	СТУ-3
Верхнее строение пути	СТУ-2
Искусственные сооружения	СТУ-4
Раздельные пункты	
Защита пути и сооружений	СТУ-5
Полоса отвода земель	
Примыкания и пересечения	
Железнодорожное электроснабжение	СТУ-15
Система сигнализации и автоматизированного управления	СТУ-6, 7
Железнодорожная электросвязь	СТУ-8, 9, 10, 11, 13
Комплексная система обеспечения безопасности	СТУ-12
Инженерно-геодезическое обеспечение	
Противопожарные требования	
Охрана окружающей среды	СТУ-14

Необходимым условием разработки нормативов являлось, то, что в соответствии с техническим заданием параметры, характеристики и нагрузки представлены в сложном сочетании, не имеющих аналогов в мире.

Это двухпутная линия колеи 1520мм, на которой предусмотрено движение высокоскоростных пассажирских поездов до 400км/час при максимальной статической нагрузке на ось – 17 т/ось, совмещенное с движением региональных пассажирских и специальных грузовых поездов.

В результате предварительного анализа установлено, что существование грузовых перевозок на ВСМ в большей мере оправдано при меньшей разности в уровнях их скоростей и при большем равенстве их размеров движения. Поэтому, очевидно, что тяговым характеристикам специального грузового состава, обращающегося на ВСМ, должны предъявляться особые требования.

В разработанных СТУ расстояние между осями главных путей с учетом ширины колеи, увеличенного габарита подвижного состава и значений максимальной скорости рекомендуется принимать:

- до 250 км/час (включительно)– не менее 4100мм;

-от 250 до 300 км/час – 4500мм;

-от 300 до 350 км/час – 4800мм;

-от 350 до 400 км/час - 5000мм.

На криволинейных участках междупутье определяется расчетом.

При проектировании ВСМ план и профиль являются важными геометрическими параметрами. Геометрия плана определяется требованием норм горизонтальных и вертикальных ускорений, в том числе ограничением непогашенных ускорений для специальных грузовых поездов, связанным с износом внутреннего рельса, скорости подъема колеса по отводу возвышения и другими параметрами.

По результатам анализа зарубежного и отечественного опыта, их детального осуждения с привлечением широкого круга ученых, отечественных и зарубежных специалистов были приняты решения по нормам и параметрам плана и продольного профиля, которые нашли отражение в СТУ. Их отличительной особенностью является дискретное изменение нормы непогашенного ускорения в зависимости от определенного уровня скорости высокоскоростных поездов:

+0.4 м/с<sup>2</sup> для 400км/час;

+0.5 - для 350 км/час;

+0.6 – для 300 км/час;

+ 0,7 - для 250 км/час и менее .

В связи с организацией на ВСМ специального грузового движения в соответствии с действующими требованиями необходим учет отрицательных непогашенных ускорений, предел которых не должен превышать 0.3, а трудных условиях – 0.4 м/с<sup>2</sup>.

В разработанном документе, в отличие от предыдущих норм, смежные элементы продольного профиля рекомендовано сопрягать вертикальной кривой при любой алгебраической разности сопрягаемых уклонов, что связано с устройством безбалластного верхнего строения пути на участках движения поездов со скоростями более 200км/час.

Таблица 3. Сопоставительные данные отечественных нормативных документов по плану и продольному профилю высокоскоростных магистралей

Параметры и нормы	СТО РЖД (250 км/ч) [3]	СТУ ВСМ 1 (400 км/ч) [4]	СТУ ВСМ 2 (400 км/ч) [2]	СТУ ВСМ 2 (400 км/ч) [5]
$h_{\max}$ , мм	100 (125)	150	150	150
$a_{\text{норм}}$ , м/с <sup>2</sup>	0,7 (1,0)	0,4 (0,7)	0,4	От 0,4 при 400 км/ч до 0,7 при менее 250 км/ч; и – 0,3 для груз. поездов
Междупутье, м	4,1	4,8	От 5000 при 400 км/ч до 4100 при 250 и менее км/ч	От 5000 при 400 км/ч до 4100 при 250 и менее км/ч
$R_{\min}$ , м	3700 (3000)	По расч.	По расч.	По расч.
Прямая вставка, м	50	400	400 (300)	400 (300)
$i_{\text{рельс}}$ , ‰	Существ.	24	24	24

Отвод $h$ , мм/м	0,50	От 0,5 при 201 км/ч до 0,37 при 400 км/ч	От 0,5 при 201 км/ч до 0,37 при 400 км/ч (не соотв. $f=28$ мм/с)	По расч.
$f$ , мм/с	34,7	По расч. (от 27,9 при 201 км/ч до 41,1 при 400 км/ч)	28	28,0
$\Psi$ , м/с <sup>5</sup>	0,40	0,40	0,40	0,40
$a_v$ , м/с <sup>2</sup>	0,3	0,39	От 0,3 на выпукл. уч. до 0,4 на вогнут. уч.	От 0,3 на выпукл. уч. до 0,4 на вогнут. уч.

Для выполнения требований безопасности ВСМ должна быть создана высокоточная координатная система для эффективного получения и использования актуальных и точных геодезических данных при изысканиях, строительстве и последующей эксплуатации сооружений и устройств ВСМ. Нормативные геодезические параметры на основе высокоточной координатной системы приведены в разработанных СТУ.

ВСМ Москва - Казань- Екатеринбург для совмещенного движения высокоскоростных пассажирских до 400 км/час и специальных грузовых поездов является уникальным сооружением, не имеющим аналогов в мире и требующим продолжения исследований в поиске наиболее эффективных решений при реализации смешанного движения.



#### 4. Транспортные системы на магнитном подвесе

Сравнение транспортных систем на магнитном подвесе с традиционными высокоскоростными линиями системы «колесо-рельс» позволяет выявить преимущества и недостатки магнитного подвеса и наметить наиболее целесообразные сферы его применения.

Конструктивные особенности транспорта на магнитном подвесе позволяют изменить некоторые предельные нормы проектирования трассы. Так по мнению немецких специалистов, наибольший продольный уклон пути может достигать 100‰ и более.

Кроме того, на линиях с магнитным подвесом кривые в плане могут быть приняты меньших радиусов, чем на ВСМ. Поскольку основание вагона охватывает балку путевой структуры и поезд не может быть опрокунут в случае сильного бокового ветра, представляется возможность увеличить угол поперечного наклона вагона в кривой до 10-12° против 6-7° на традиционных дорогах. Это позволяет обеспечить высокие скорости движения при меньших радиусах кривой.

Так при  $a_n = 0,4 \text{ м/с}^2$  и при угле поперечного наклона вагона в кривой до 10/12° определили следующие радиусы кривых:

$v_{\max}$	300	350	400	450	500
$R_{\min}$	3300/2800	4400/3800	5800/5000	7300/6300	9000/7800

Увеличение уклонов профиля и уменьшение радиусов кривых в плане облегчают задачу трассирование линии в сложных топографических условиях. Это снижает, особенно в горной местности, различие на сооружение эстакад и путевой структуры линий на МП и традиционных ВСМ.

В тоже время, высокая материалоемкость системы МП, особенно большой расход меди, стали и алюминия, по предварительным расчетам увеличивают потребность в капиталовложениях по сравнению с ВСМ на 40%. Однако, отсутствие изнашивания путевой структуры и подвижного состава уменьшает в системе МП эксплуатационные расходы. Дополнительным существенным преимуществом системы МП является индустриальное изготовление основания пути.

Следует отметить, что в системе МП требует повышенного внимания фактор защиты пассажиров от воздействия магнитных и электрических полей, возникающих вокруг трассы и вагонов. Защита салона вагона от магнитной индукции требует устройства дополнительных экранов [допустимая магнитная индукция - 3-5 Тл (тесла)].

<b>Преимущества</b>	<b>Недостатки</b>
Большая скорость	Большая стоимость
Высокий комфорт пассажиров, благодаря плавности движения	Насовместимость с существующей сетью ж.д.
Снижение шума	
Небольшие размеры отчуждаемой территории	

В России создан проект пригородного сообщения линии с МП от Москвы до аэропорта Шереметьево.

Литература:

1. Анисимов П.С., Иванов А.А. Высокоскоростные железнодорожные магистрали и пассажирские поезда. М.: УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2011

2. Кантор И.И. Высокоскоростные железнодорожные магистрали: трасса, подвижной состав, магнитный подвес: Учебное пособие для вузов ж.-д. трансп. М.: Маршрут, 2004. - 51 с.