

УДК 621.336

В. Н. ЯНДОВИЧ (ОДЖД), В. Г. СЫЧЕНКО, А. В. АНТОНОВ (ДНУЖТ)

Помошнянская дистанция электроснабжения, Одесская железная дорога, ул. Энергетиков 1, г. Помошная, Кировоградская обл., Украина, 27030, тел.: (052) 532-72-35

Кафедра Электроснабжение железных дорог, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел.: (056) 793-19-11, эл. почта: elsnz@mail.ru, a.v.antonov91@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНТАКТНЫХ ПОДВЕСОК В СТРАНАХ ЕВРОСОЮЗА И УКРАИНЫ: ОРГАНИЗАЦИЯ НАДЕЖНОГО ТОКОСЪЕМА

Введение

Для обеспечения высокоскоростного движения на железных дорогах Европы разработаны технические спецификации по эксплуатационной совместимости различных систем (TSI) и несколько европейских стандартов.

Максимальная скорость движения на электрифицированных линиях переменного тока в последние годы возросла до 300 км/ч; для некоторых новых участков планируется скорость до 350 км/ч. Максимальная скорость на линиях постоянного тока достигает 250 км/ч. Мощность, необходимая для современного высокоскоростного подвижного состава, требует повышения тяговых токов до 2000 А на переменном токе и до 4000 А на постоянном. Передача таких токов по контактному проводу и через контактные накладки токоприемников, контактная поверхность которых составляет всего лишь несколько квадратных миллиметров, при высокой скорости движения является сложной задачей, решение которой требует соответствующего качества контактной сети и, в большинстве случаев, нескольких токоприемников на одном поезде.

Все компоненты системы передачи мощности должны соответствовать предъявляемым требованиям и подлежат тщательной проверке и испытаниям.

Требования к контактным сетям высокоскоростных линий изложены в спецификации TSI Energie и стандарте DIN EN 50119. В соответствии с этими требованиями они должны обладать мощностными характеристиками, обеспечивающими их совместимость с другими системами и соответствие требованиям в отношении усилий нажатия в контакте и частоты образования электрической дуги. Так, максимальное ветровое отклонение контактного провода на прямых участках не должно превышать 400 мм. Эластичность контактного провода в середине пролета должна быть меньше

© Яндович В. Н. и др., 2014

0,5 мм/Н, а ее равномерность, в зависимости от конструкции цепной контактной подвески, должна составлять от 10 до 40 %. При этом эксплуатационная скорость не должна превышать 70 % скорости распространения волны по подвеске.

Скользкий вдоль контактного провода токоприемник вызывает возникновение поперечных (вертикальных) импульсов, которые распространяются по контактному проводу со скоростью движения волн и отражаются от точек сосредоточения масс, а также от конечных точек. Для достижения необходимой разности между скоростью распространения волн и скоростью движения поезда необходимы большие усилия натяжения и высокая прочность контактного провода (от 420 до 520 Н/мм²), а также несущий трос с соответствующими прочностными характеристиками. Кроме того, необходимо также выполнение следующих условий:

- соответствие характеристик всех компонентов контактной сети предъявляемым требованиям;
- максимально равномерная эластичность контактной подвески и минимальные отклонения высоты расположения нижней поверхности контактного провода, которая является направляющей для скольжения контактных накладок или вставок токоприемников;
- высокая устойчивость к вибрациям компонентов контактной подвески, подвергающихся динамическим нагрузкам, таких, например, как струны;
- соблюдение допусков по положению контактного провода как при монтаже, так и в эксплуатации;
- проверка новых контактных сетей путем измерения высоты расположения и зигзага контактного провода и определения сил прижатия токоприемников с использованием современной измерительной техники и технологий, предусмотренных стандартом EN 50317;

- использование средств технической диагностики, позволяющих своевременно устанавливать любые отклонения от заданных параметров.

В соответствии с директивой ЕС 96/48 страны-члены Европейского союза согласились гармонизировать технические средства своих высокоскоростных железнодорожных линий, чтобы обеспечить их эксплуатационную совместимость в международных сообщениях. В разработанных соответствующими инстанциями ЕС Технических спецификациях интероперабельности (Technical Specifications for Interoperability, TSI) [1] определены связанные с этим основные требования к инфраструктуре и подвижному составу. Страны-члены ЕС должны ввести требования TSI в национальное законодательство, чтобы проектируемые и строящиеся высокоскоростные линии соответствовали этим требованиям. В числе прочих, решением ЕС 2002/733, утверждены спецификации на системы тягового электроснабжения (TSI Energy), в том числе на контактную сеть. В рамках ЕС созданы так называемые уполномоченные органы (notified bodies) для оценки и сертификации технических средств железнодорожного транспорта в контексте TSI.

Развитие скоростного движения на железных дорогах, предъявляющего жесткие требования к качеству токосъема, явилось катализатором научных и практических поисков конструктивов контактной подвески, на основе которых можно значительно улучшить свойства существующих подвесок при их модернизации.

Интересно, что надежный токосъем при высоких скоростях движения, как показывает опыт рекордных скоростных поездок во Франции (515,3 км/ч в 1990 г.), Японии (443 км/ч в 1996 г.), Германии (407 км/ч в 1988 г.), может быть обеспечен при обычных цепных рессорных компенсированных контактных подвесках путем значительного (в 2-3 раза) повышения натяжения контактного провода и несущего троса. Это требует создания высокопрочных проводов и тросов, рассчитанных на натяжение 20÷30 кН, без снижения их износо- и термостойкости и повышения электрического сопротивления, что может быть достигнуто легированием (серебро, хром, цирконий) материала провода или переходом на биметаллические контактные провода (сталь-алюминий, сталь-медь). За рубежом существует много модификаций таких проводов. Начаты их разработка и освоение в России.

Повышение натяжения проводов и тросов не только обеспечивает улучшение качества токосъема, но и дает возможность совершенствовать конструкцию контактной сети в целом: строительная высота подвески может быть уменьшена до 1,4 м при длине пролетов до 70 м. Это позволяет уменьшить высоту опор контактной сети и расход материалов на изготовление струн и облегчает размещение контактных подвесок в искусственных сооружениях.

В целом, система тягового электроснабжения XXI века по техническому оснащению и технологиям работы будет саморегулируемой, интеллектуализированной, обеспечивающей оптимальный процесс энергообеспечения тяги и взаимосогласованную работу всех тяговых подстанций, линий и находящегося на ней электроподвижного состава.

Целью данной статьи является оценка технических возможностей существующих контактных подвесок, применяемых на железных дорогах Украины, для обеспечения надежного токосъема при внедрении скоростного движения.

Проблемные вопросы высокоскоростных контактных подвесок

Для обеспечения нормальных условий токосъема требуется наличие постоянного надёжного контакта между токоприёмником и контактным проводом.

Выдержать это условие при небольших скоростях движения электропоездов не представляет труда. При больших скоростях, когда сильно возрастает влияние инерции токоприёмника и контактной подвески, давление токоприёмника на провод изменяется в значительных пределах. В отдельные моменты движения давление токоприёмника может сильно повышаться, что вызывает увеличение отжатия контактного провода и может привести к механическим повреждениям контактной сети (подбой фиксаторов, врезных изоляторов на воздушных промежутках и т. п.). В другие моменты, наоборот, давление токоприёмника на провод может значительно снижаться, доходя в отдельных случаях до нуля. При этом происходят отрывы токоприёмника от провода, сильное искрение и, как следствие этого, поджоги провода и усиленный его износ.

Давление токоприёмника вызывает отжим (подъём) контактного провода. Величина отжима контактного провода зависит от величины давления токоприёмника и от конструкции самой подвески (типа подвески), количества

проводов, их натяжения, длины пролёта, а также от положения токоприёмника в пролёте.

Высокоскоростное движение накладывает особые требования на надёжность систем передачи энергии, главным образом в контексте повышенных скоростных и мощностных параметров. Так, при движении высокоскоростного электроподвижного состава в целях обеспечения надёжного токосъёма зачастую поднимают два токоприёмника.

Наилучшие условия токосъёма получаются в том случае, когда токоприёмник при его движении вдоль провода сохраняет одно и то же положение по высоте, причём давление его на провод остаётся всё время постоянным. Для этого контактная подвеска должна удовлетворять следующим требованиям:

- контактная подвеска должна обладать возможно более равномерной эластичностью, т. е. одно и то же давление токоприёмника должно вызывать во всех точках пролёта одинаковые отжимы контактных проводов, в подвеске не должно быть отдельных точек, где эластичность контактного провода нарушается («жёсткие» точки);

- контактные провода должны располагаться на всём протяжении по возможности на одной и той же высоте от головки рельса, изменения высоты контактных проводов в пролёте должны быть по возможности меньшими (в отдельных случаях, изменение высоты контактных проводов в пролёте может быть увязано с изменением эластичности контактной подвески);

- контактная подвеска должна обладать достаточной стабильностью по отношению к токоприёмнику, т. е. перемещения (отжимы) подвески под действием на неё токоприёмника должны быть относительно небольшими, равномерными по длине пролёта, для этого масса подвески и, в частности, масса частей подвески, непосредственно связанных с контактным проводом, должна быть достаточно велика, и натяжение проводов, входящих в подвеску, должно быть возможно большим.

Анализ и сравнение нормативной базы Евросоюза и Украины по вопросам строительства контактных подвесок высокоскоростных железнодорожных линий

Комиссия Европейского Сообщества на выполнение Директивы 96/48/ЕС от 23 июля 1996 года, решением Комиссии от 6 марта 2008 г. (2008/57/ЕС) утвердила TSI Energie - «Технические спецификации интероперабельности» подсистемы «Энергия» для высокоскоростной же-

лезнодорожной системы (далее TSI Energie). Данный документ распространяется на проектирование новых линий или модернизацию существующих. Эта TSI не навязывает использование конкретных технологий или технических решений, за исключением, когда это необходимо для совместимости трансевропейской высокоскоростной железнодорожной системы. Для поощрения инновационной деятельности в сфере принятия новых технических решений TSI подлежат периодической ревизии и пересмотру.

В соответствии с Приложением I Директивы 2008/57/ЕС высокоскоростные железнодорожные линии классифицированы следующим образом:

I категория - специально построенные высокоскоростные линии оборудованные для обращения со скоростью 250 км/ч и более;

II категория - специально модернизированные высокоскоростные линии, оборудованные для движения со скоростью порядка 200 км/ч;

III категория - специально модернизированные высокоскоростные линии или линии специально построенные для высокой скорости, которые имеют особые характеристики, как результат топографических, экологических, рельефных или градостроительных ограничений на которых скорость должна быть адаптирована индивидуально [1].

В Украине аналогичного TSI документа нет, поскольку проблемы интероперабельности железнодорожного транспорта на постсоветском пространстве в силу исторических причин развития, в целом не существовало. Однако, существует межгосударственный документ, который регламентирует вопросы строительства контактной сети скоростных и высокоскоростных железнодорожных линий. Это памятка ОСЖД Р610-7 «Общие технические требования к системам тягового электроснабжения постоянного и переменного тока скоростных и высокоскоростных линий» [2]. Для анализа возьмем TSI Energie, Р610-7 и основной нормативный документ, касающийся контактных подвесок: «Правила устройства и технического обслуживания контактной сети электрифицированных железных дорог» ЦЕ-0023, утвержденные приказом Укрзалізничниці от 20.11.2007 г. № 546Ц [3].

В нормативном документе ОСЖД Р610-7 участки железных дорог классифицируются следующим образом (см. табл.1). В основу классификации положены исходные данные по "Параметрам объектов инфраструктуры на наиболее

важных с международной точки зрения железно-дорожных линиях" (документ МСЖД ECE /TRANS/63 page 85 Приложение II).

Сравнивая категории скоростных линий в TSI Energie и P610-7 можно сделать вывод, что 1 категории TSI соответствует категория В1 ОСЖД, соответственно 2 категории – В2, 3 ка-

тегории - А2. Соответственно, подход в Украине для определения высокоскоростных и скоростных линий, в целом, соответствует TSI Energie.

Сравнение параметров габаритов контактных подвесок приведено в табл. 2.

Таблица 1

Классификация электрифицированных магистралей линий и участков железных дорог скоростного и высокоскоростного движения

	Существующие линии, А		Новые линии, В	
	А1	А2	В1	В2
Условия создания скоростной линии	С ограниченными возможностями модернизации под скоростное движение	С технико-экономической обоснованной возможностью модернизации под скоростное движение	Предназначены исключительно для пассажирских перевозок	Предназначены для смешанных пассажирских и грузовых перевозок
Расчетная (номинальная) скорость, км/ч	160	200	300	250
Максимальная скорость движения (на отдельных участках)	180	220	350	280
Класс линий		Скоростная (СМ)		Высокоскоростная (ВСМ)
Рекомендуемая система тягового электро-снабжения	Действующие ж. д линии:	Существующая система (переменный, постоянный ток) Переменный ток 25 кВ 50Гц		
	а)электрифицированные; б)электрифицируемые			
	Вновь сооружаемые			Переменный ток 25 кВ 50 Гц, 2х25 кВ

Таблица 2

Сравнение параметров габаритов контактных подвесок

Наименование	Категория 1	Категория 2	Категория 3	В Украине
Номинальная высота к/провода (мм)	5080 -5300	5000 - 5500	AC 5000-5750 DC 5000-5600	5750-6800
Мин. высота к/провода (мм)	-----	AC - 4950 DC - 4900		AC- 5675 DC - 5550
Макс. высота к/провода (мм)	-----	AC - 6000 DC - 6200		6800
Уклон к/провода	Нет уклонов		<0,001	<0,001
Отклонение	< 0,4 м			< 0,5 м

Как видно из сравнительной таблицы, габариты высоты контактного провода стран ЕС немного меньше чем в Украине, в связи с отличиями в габаритах подвижного состава и габаритов приближения строений. Но все же, по номинальному значению высота контактного провода приблизительно согласуется со значениями TSI. По другим основным параметрам: допустимому уклону контактного провода, отклонению контактного провода от оси пути требования TSI более жесткие.

Основные типы контактных подвесок используемых в высокоскоростном движении стран-членов Европейского сообщества

Для общеевропейской сети совместимых между собой железных дорог необходима контактная сеть, удовлетворяющая требованиям Директивы 2008/57/ЕС и спецификаций по технико-эксплуатационной совместимости TSI Energy различных систем. Контактная сеть типов SICAT S1.0 и SICAT H1.0 была создана и испытана согласно указанным документам и сопутствующим европейским стандартам EN, а

© Яндович В. Н. и др., 2014

также в расчете на совместную работу с разными системами тягового электроснабжения, в разных условиях окружающей среды и с учетом соответствия разным проектным нормативам. Опыт эксплуатации контактной сети этих типов показал их применимость [4].

Конструкции контактной сети указанных выше типов были созданы компанией Siemens Transportation Systems с использованием программ математического моделирования, описывающих взаимодействие между токоприемниками и контактным проводом и позволяющих, в частности, оценить силовые параметры этого взаимодействия. Одной из целей в ходе проектирования была минимизация затрат как

на изготовление конструктивных элементов и монтаж контактной сети, так и на ее техническое обслуживание и ремонт, т. е. суммарных затрат жизненного цикла.

Контактная сеть двух указанных типов должна быть приспособлена к использованию на открытых участках линий, в тоннелях, а также при всех системах электроснабжения переменного тока. Кроме того, спецификации TSI Energy и связанный с ними европейский стандарт EN 50367 регламентируют требования совместимости контактной сети с электроподвижным составом (конкретнее - с токоприемниками), применяемым на железных дорогах сопредельных стран.

Таблица 3

Технические требования к контактной сети типов SICAT S1.0 и SICAT H1.0

Параметр	SICAT S1.0	SICAT H1.0
Напряжение переменного тока, кВ	15 или 25	
Ток, А	600	850
Максимальная скорость движения поездов, км/ч	230	350
Сила прижатия, токоприемника Н	Согласно статье 4.2.15 спецификаций TSI Energy	
Тип токоприемника	Euro, DB	
Эластичность, мм/Н	1,0	0,5
Постоянство эластичности, %	20	15
Максимальное поперечное смещение, мм	550	400
Скорость распространения волны, км/ч	330	500
Номинальная высота подвешивания контактного провода над УГР, мм	5000-5500	5080-5300
Усредненная сила прижатия, Н	120	170

Так как положения спецификаций TSI Energie относятся только к условиям движения поездов со скоростью порядка 320 км/ч, именно это значение максимальной скорости было принято в качестве критериального для контактной сети типа SICAT H1.0, хотя ее конструкция подходит и для скорости до 350 км/ч. Конструкция контактной сети типа SICAT S1.0 разработана применительно к линиям со скоростью движения поездов до 230 км/ч, что соответствует скоростным параметрам линий категории 2, но контактную сеть этого типа можно использовать и на линиях категории 3.

Кроме этих подвесок, широко применяемыми типами контактных подвесок для скоростного движения (160 км/ч и выше) являются подвески Re 160, Re 200, Re 250, Re 330.

В табл. 4 дано сравнение параметров подвесок SICAT H 1.0 и Re 330 на открытых участках и для подвесок в тоннелях.

Из вышеприведенного видно, что при повышении проектной скорости подвесок необходимо:

1. Увеличить натяжение контактного провода, для ликвидации стрелы провеса, со значений 10 кН у подвесок Re 160, 200 до 15 кН Re250 и 21кН подвесок Re 330, SICAT H 1.0. Соответственно, для этого необходимо увеличить сечение со 100 мм² до 150 мм² и марку контактного провода с медного (Re 160, 200) до низколегированных серебром (Re 250), магнием (Re 330, SICAT H1.0).
2. Уменьшить пролет с 80 м (Re 160, 200) до 65 м (Re 250, Re 330, SICAT H1.0).
3. Увеличить натяжение несущего троса с 10 кН (Re 160, 200) до 15 кН (Re 250), до 21 кН (Re 330,

SICAT H1.0), увеличить сечение несущего троса (50-120 мм²) в зависимости от токовых нагрузок.

4. Увеличить длину и натяжение рессорного троса с 12 м, 2кН (Re 160) до 18м и натяжением 2,3- 3,5 кН (Re 250, Re 330, SICAT H1.0).

Таблица 4

Сравнение параметров подвесок SICAT S1.0 и Re 330 на открытых участках и в туннелях

Параметр	Тип подвески		Тип подвески в туннелях	
	SICAT H 1.0	Re 330	SICATH1.0	Re 330
Контактный провод				
Состав, марка	CuMg0,7, RiM 120			
Натяжение контактного провода, кН	27			
Высота расположения, м	5,3			
Зигзаг, м	± 0,3			
Несущий трос				
Марка	Bz II 120			
Сила натяжения, кН	21			
Рессорный трос				
Марка	Bz II 35		нет	
Сила натяжения, кН	3,5		нет	
Длина, м	22	18	нет	
Общие данные				
Длина пролетов, м	70	65	50	50
Конструктивная высота, м	1,6	1,8	1,5	
Максимальная длина анкерного участка, м	1 400	1 250	1 400	1 250
Сопряжение анкерных участков	Трехпролетное	Пятипролетное	Пятипролетное	
Длина пролетов в сопряжении, м	3 * 70	2 * 60 + 51 + 2 * 60	5 * 50	
Материал крепежной арматуры	Оцинкованная сталь St37/St52	Алюминиевый сплав F 31	Оцинкованная сталь St37/52	Алюминиевый сплав F 31
Материал консоли	F 31			
Опоры	центрифугированные бетонные типа NB		-----	
Фундаменты	С внутренней или наружной трубой	С внутренней трубой	-----	

Согласно п. 3 ОСЖД Р610-7 общие требования к контактным подвескам следующие:

- достижение равно эластичности подвески по всей длине пролета;
- повышенное натяжение контактных проводов, несущих и рессорных тросов;
- повышенные термо- и износостойкость, механическая прочность контактных проводов и тросов;
- минимизация по массе всех конструктивных элементов, непосредственно связанных с подвеской при повышенных требованиях к их прочности и долговечности; надежная защита этих элементов от всех видов коррозии на полный срок эксплуатации;
- строгое выдерживание всех проектных геометрических параметров подвески (высота, зигзаг и др.) при монтаже, наладке и в процессе всего периода эксплуатации.

За базовую для скоростного и высокоскоростного движения рекомендуется цепная полностью компенсированная контактная подвеска с повышенным натяжением контактных проводов и тросов, основные технические характеристики которой должны соответствовать данным таблицы 5. Допускается применение и других типов подвесок, обеспечивающих требуемые параметры скоростного токосяема.

Допустимые пределы нажатия токоприемника на контактный провод при высокоскоростном движении

TSI подсистемы Energie пунктами 4.2.14, 4.2.15 в соответствии с EN 50206-1 нормирует статические силы нажатия токоприемника на контактный провод. Проведем сравнение параметров нажатий, указанных в TSI, табл. 6.

Базовые параметры контактных подвесок для высокоскоростного движения согласно памятки

№ п/п	Параметр	КС-160	КС-200	КС-250	КС-300
1.	Базовая контактная подвеска: а) на перегонах и главных путях станций;	Компенсированная цепная контактная подвеска с удлиненным рессорным тросом			
	б) на станциях действующих электрифицированных линий	Допускается полукомпенсированная контактная подвеска			
2.	Номинальное натяжение, кН:				
	а) контактного провода;	10,0	12,0	15,0 20,0	15,0 20,0
	б) несущего троса; в) рессорного троса	16,0 2,5-3,0	18,0 3,0-4,0	3,5-4,0	3,5-4,0
3.	Максимальная длина пролета, м	70,0	65,0	60	60
4.	Наибольшая длина анкерного участка, м	1500	1400	1300	1200
5.	Длина рессорного троса, м	16,0	18,0	18-20	20,0
6.	Сопряжение анкерных участков:	3-х	3-х	4-х	4-х
	а) не изолирующие; б) изолирующие;	пролетн. 4-х пролетн.	пролетн. 4-х пролетн.	пролетн. 5-ти пролетн.	пролетн. 5-ти пролетн.
7.	Эластичность, мм/Н (не более):				
	а) под опорой; б) в середине пролета	0,5 0,6	0,3 0,4	0,2 0,3	0,15 0,2
8.	Коэффициент неравномерности эластичности (не более)	1,30	1,20	1,15	1,10
9.	Допуск на вертикальную регулировку высоты подвешивания контактного провода (не более), мм	±20	±15	±10	±5
10.	Допустимые основные уклоны контактного провода при изменении высоты его подвешивания (с переходными 2-3 участками с уклоном 0,5 от указанных)	0,003	0,002	0,001	0,001
11.	Максимальное отклонение высоты подвеса контактного провода от номинального, мм	±350	±250	±150	±150

Таблица 6

Параметры нажатий токоприемников

Система эл. снабжения	Номинальное значение, Н	Диапазон применения, Н
АС 25 kV, 50 Hz; 15 kV, 16,7 Hz	70	60-90
DC 3 kV	110	90-120
DC 1,5 kV	90	70-110

Для токоприемников, принятых в Украине, допустимые диапазоны применения статических сил нажатия (70-120 Н) целиком согласуются с принятыми в TSI.

Динамические параметры для системы тягового электроснабжения также установлены технической спецификацией TSI Energie. Они определены в соответствии с теоретическими кривыми для средней силы контактного нажатия и ее стандартного отклонения при максимальной скорости движения (рис.1).

Кроме того, в TSI Energie содержатся допуски, регламентирующие частоту возникновения электрической дуги на токоприемнике. В то же время, в документе не приведены предельные значения сил контактного нажатия в местах с дефектами контактного провода.

© Яндович В. Н. и др., 2014

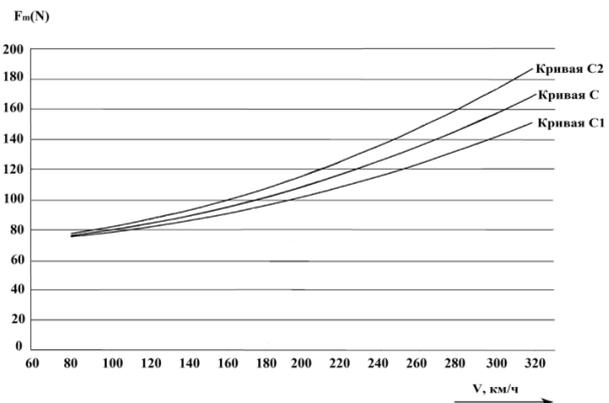


Рис. 1. Кривые для определения средней силы контактного нажатия и ее стандартного отклонения при максимальной скорости движения для АС-системы

В ходе приемки использовали предельные значения, известные из опыта эксплуатации других высокоскоростных линий. Измерения контактного нажатия проводили с учетом допустимой величины отжима контактного провода, регламентированной европейским стандартом EN 50317 и TSI Energie. Например для подвески Sicat HA в 2002 г. спецификацией TSI Energie была установлена предельная величина отжима, равная 100 мм. В более поздней редакции эта величина была снижена до 80 мм.

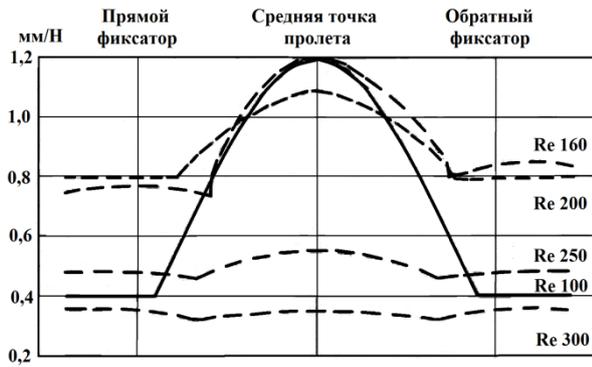


Рис. 2. Коэффициент эластичности стандартных контактных подвесок

Для контактных подвесок применяемых в Украине приблизительно соответствует кривая Re 100. Диапазон среднего значения силы контакта F_m для различных систем п. 4.2.15 [1].

Методы испытаний относятся к EN 50317:2002 и EN 50318:2002. S_0 рассчитывается, при моделировании или измерении подвья-

тия контактной сети в постоянных условиях с одним или несколькими пантографами со средней силой контакта F_m при максимальной скорости линии. Конструкция контактной сети, рассчитана на прием максимальной и минимальной равнодействующих сил взаимодействия между токоприемником и контактным проводом с учетом аэродинамических эффектов, которые происходят на максимально допустимой скорости подвижного состава, следует заметить, что минимальная сила контакта всегда должна быть положительной, с целью исключения потери контакта токоприемника и контактного провода. Расчетные значения силы контакта между контактным проводом и токоприемником приведены в табл. 9.

Также пунктом 5.2.1.5 TSI Energie нормирована скорость распространения волны в контактом проводе при движении электроподвижного состава. Поскольку волны под действием сил давления пантографа на контактный провод при движении, имеют определенную скорость распространения, скорость работы линии должна быть не менее 70 % от скорости распространения волны.

В силу многих причин токоприемники на подвижном составе разных европейских стран имеют полозы разной длины: в Германии, Австрии и Испании 1950 мм, в Великобритании 1600 мм, во Франции и Швейцарии 1450 мм.

Таблица 7

Силы контакта для разных систем электроснабжения

Система электроснабжения	F_m для скорости более 200 км/ч
AC	$60 \text{ Н} < F_m < 0,00047 \cdot v^2 + 90 \text{ Н}$
DC 3 kV	$90 \text{ Н} < F_m < 0,00097 \cdot v^2 + 110 \text{ Н}$
DC 1,5 kV	$70 \text{ Н} < F_m < 0,00097 \cdot v^2 + 140 \text{ Н}$

Примечание: F_m - среднее значение силы контакта, v - скорость движения

Таблица 8

Требования для динамических характеристик и качества контактных подвесок

Наименование	Категория 1	Категория 2	Категория 3
Space for steady arm uplift. Пространство для устойчивого подъема	2 S_0		
Mean contact force F_m Среднее значение контактной силы F_m	See 4.2.15. Согласно п. 4.2.15		
Стандартное отклонение линии при максимальной скорости σ_{max} (N)	0,3 F_m		
Процент искрения при максимальной скорости на линии, NQ (%) (минимальная продолжительность дуги 5 мс)	$\leq 0,2$	$\leq 0,1$ for AC systems $\leq 0,2$ for DC systems	$\leq 0,1$

© Яндович В. Н. и др., 2014

Расчетные значения сил контакта между контактным проводом и токоприемником

Система	Скорость, км/ч	Контактное нажатие	
		максимальное, Н	минимальное, Н
AC	> 200	300	положительное
AC	>200	350	положительное
DC	>200	300	положительное
DC	> 200	400	положительное

Таблица 10

Зависимость бокового отклонения контактного провода от длины полоза токоприемника

Длина полоза токоприемника, (мм)	Максимальное боковое отклонение контактного провода от оси пути, (м)
1600	0,40
1950	0,55

Важным моментом является принятие единого профиля полоза для токоприемников переменного тока (рис. 3).

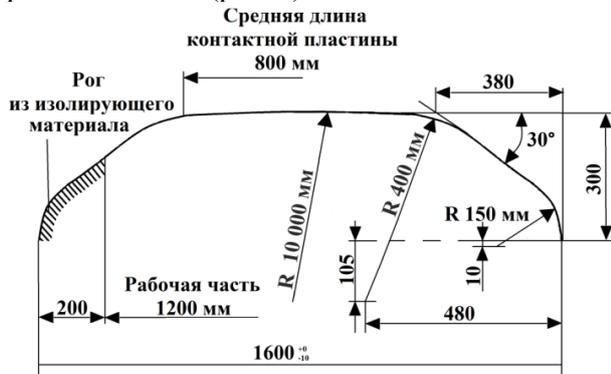


Рис. 3. Единый профиль токоприемника для европейских линий, электрифицированных на переменном токе

Содержащиеся в документе рекомендации в отношении конструкций контактных подвесок и токоприемников разработаны с учетом современного уровня техники и опыта эксплуатации высокоскоростных линий, накопленного в разных странах.

Предложенный документ является основой для всех новых разработок в рамках TSI. Разработаны также дополняющие его документы, основанные на нормах ЕС. В их рамках рабочей группой WGS9 созданы правила, содержащие технические критерии, которые используются для оценки взаимодействия токоприемников с контактными подвесками.

Дальнейшее развитие конструкций контактной сети для высокоскоростных железнодорожных линий получит развитие, ориентируясь на технические спецификации нового европантографа. Соответственно, максимальное бо-

вое отклонение контактного провода от оси пути следует принимать согласно п. 4.2.13.3 [1].

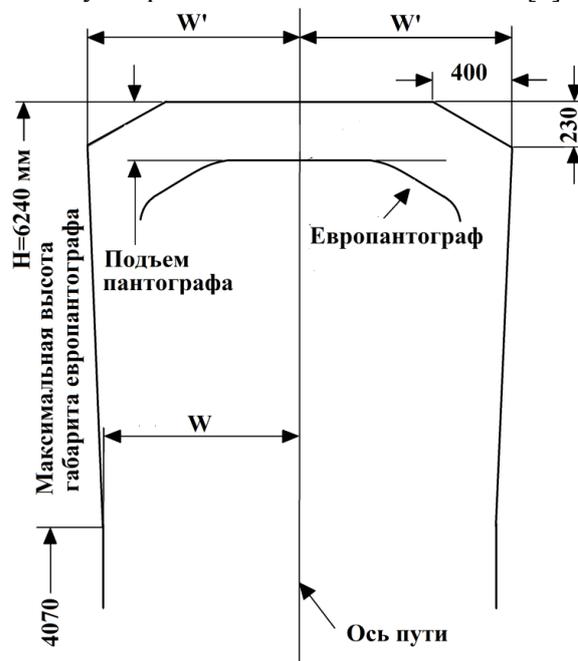


Рис. 4. Габарит европантографа и рабочей зоны

Выводы

Проведенный сравнительный анализ показывает:

1. Существующий в Украине подход для определения высокоскоростных и скоростных линий, в целом, соответствует европейской практике. Следует отметить, что габариты высоты контактного провода стран ЕС немного меньше чем в Украине, в связи с отличиями в габаритах подвижного состава и габаритов приближения строений. Однако, по номинальному значению высота контактного провода приблизительно согласуется со значениями

TSI. По другим основным параметрам: допустимому уклону контактного провода, отклонению контактного провода от оси пути требования TSI более жесткие.

2. Для улучшения качества токосъема необходимо увеличить натяжение контактного провода для минимизации его стрелы провеса, увеличить натяжение несущего троса, увеличить длину и натяжение рессорного троса. При этом надежный токосъем при высоких скоростях движения может быть обеспечен при обычных цепных рессорных компенсированных контактных подвесках с применением высокопрочных проводов и тросов, рассчитанных на натяжение 20÷30 кН, без снижения их износо- и термостойкости и повышения электрического

сопротивления, что может быть достигнуто легированием (серебро, хром, цирконий) материала провода или переходом на биметаллические контактные провода (сталь-алюминий, сталь-медь).

3. Для токоприемников, принятых в Украине, допустимые диапазоны применения статических сил нажатия (70-120 Н) целиком согласуются с принятыми в TSI.

4. Дальнейшее развитие конструкций контактной сети для высокоскоростных железнодорожных линий должно быть ориентировано на применение единого габарита токоприемника с использованием современных токосъемных элементов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Concerning a technical specification for interoperability relating to the 'energy' sub-system of the trans-European high-speed rail system и (notified under document number C(2008) 807) (Text with EEA relevance) (2008/284/CE).
2. ОСЖД Р610-8 «Общие технические требования к системам тягового электроснабжения постоянного и переменного тока скоростных и высокоскоростных линий».
3. Правила устройства и технического обслуживания контактной сети электрифицированных железных дорог, ЦЕ-0023, утвержденных Приказом Укрзалізничці от 20.11.2007г. №546 Ц.
4. Kießling, R. Puschmann, A. Schmieder: Contact lines for Electric Railways, Planning, Design and Implementation, 820 pages, MCC-Verlag, Erlangen 2001.

REFERENCES

1. Concerning a technical specification for interoperability relating to the 'energy' sub-system of the trans-European high-speed rail system и (notified under document number C(2008) 807) (Text with EEA relevance) (2008/284/CE).
2. OSZhD R610-8 «Obshchie tekhnicheskie trebovaniya k sistemam tyagovogo elektrosnabzheniya postoyannogo i peremennogo toka skorostnykh i vysokoskorostnykh liniy».
3. Pravila ustroystva i tekhnicheskogo obsluzhivaniya kontaktnoy seti elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog» TsYe-0023, utverzhdenykh Prikazom Ukrzaliznytsi ot 20.11.2007g. №546 C.
4. Kießling, R. Puschmann, A. Schmieder: Contact lines for Electric Railways, Planning, Design and Implementation, 820 pages, MCC-Verlag, Erlangen 2001.

Поступила в печать 17.06.2014.

Внутренний рецензент *Гетьман Г. К.*

Внешний рецензент *Денисюк С. П.*

Внедрение скоростного и высокоскоростного движения требует решения целого ряда научно-технических проблем. В тяговом электроснабжении это создание новой контактной подвески, обеспечение условий надежного токосъема, обеспечение совместимости систем при организации скоростных транспортных коридоров и другое. В статье проведен сравнительный анализ применения контактных подвесок на скоростных магистралях Европы и Украины. Исследование выполнено по двум направлениям: технический анализ конструктивных параметров и сравнение существующей нормативной базы. Проанализированы характерные особенности контактных подвесок в странах ЕС и Украине, выявлены принципиальные различия и определены направления для дальнейшего развития конструкций контактной сети скоростных и высокоскоростных железнодорожных линий. Произведена оценка технических возможностей существующих контактных подвесок для обеспечения надежного токосъема при внедрении скоростного движения. Основной акцент сделан на возможность обеспечения надежного токосъема. Показано, что существующая контактная подвеска, применяемая на железных дорогах Украины может использоваться для внедрения скоростного движения после проведения соответствующей модернизации. В то же время, для обеспечения условий интероперабельности, необходимо проводить работы по унификации отечественных токоприемников и токосъемных вставок. Для внедрения высокоскоростного движения технические возможности существующих контактных подвесок Украины недостаточны и необходимо проведение необходимого комплекса научно-конструкторских исследований, в том числе направленных на повышение качества токосъема.

Ключевые слова: контактная сеть, токосъем, высокоскоростное движение, интероперабельность, европантограф.

УДК 621.336

В. М. ЯНДОВИЧ (ОДЕСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ), В. Г. СИЧЕНКО, А. В. АНТОНОВ (ДНУЗТ)

Помічянська дистанція електропостачання, Одеська залізниця, вул. Енергетиків, 1, м. Помічна, Кіровоградської обл., Україна, 27030, тел.: (052) 532-72-35

Кафедра Електропостачання залізниць, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна, вул. Лазаряна 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел.: (056) 793-19-11, ел. пошта: elsnz@mail.ru, a.v.antonov91@gmail.com

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОНТАКТНИХ ПІДВІСОК В КРАЇНАХ ЄВРОСОЮЗУ ТА УКРАЇНИ: ОРГАНІЗАЦІЯ НАДІЙНОГО СТРУМОЗНІМАННЯ

Впровадження швидкісного і високошвидкісного руху потребує вирішення цілого ряду науково-технічних проблем. В тяговому електропостачанні це створення нової контактної підвіски, забезпечення умов надійного струмознімання, забезпечення сумісності систем при організації швидкісних транспортних коридорів та інше. У статті проведено порівняльний аналіз застосування контактних підвісок на швидкісних магістралях Європи та України. Дослідження виконано за двома напрямками: технічний аналіз конструктивних параметрів і порівняння існуючої нормативної бази. Проаналізовано характерні особливості контактних підвісок в країнах ЄС і Україні, виявлені принципові відмінності і визначені напрямки для подальшого розвитку конструкцій контактної мережі швидкісних і високошвидкісних залізничних ліній. Зроблено оцінку технічних можливостей існуючих контактних підвісок для забезпечення надійного струмознімання при впровадженні швидкісного руху. Основний акцент зроблений на можливість забезпечення надійного струмознімання. Показано, що існуюча контактна підвіска, застосовувана на залізницях України може використовуватися для впровадження швидкісного руху після проведення відповідної модернізації. У той же час, для забезпечення умов інтероперабельності, необхідно проводити роботи по уніфікації вітчизняних струмоприймачів і струмознімальних вставок. Для впровадження високошвидкісного руху технічні можливості існуючих контактних підвісок України недостатні і необхідне проведення необхідного комплексу науково-конструкторських досліджень, у тому числі спрямованих на підвищення якості струмознімання.

Ключові слова: контактна мережа, струмознімання, високошвидкісний рух, інтероперабельність, європантограф.

Внутрішній рецензент *Гетьман Г. К.*

Зовнішній рецензент *Денисюк С. П.*

UDC 621.336

V. M. YANDOVICH (ODESKA RAILWAY), V. G. SICHENKO, A. V. ANTONOV (DNURT)

Pomichna Distance of Power Supply, Odeska Railway, 1 Energetics Street, Pomichna, Kirovograd region, Ukraine, 27030, tel.: (052) 532-72-35

Department of Power supply of Railways, Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Street, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.: (056) 793-19-11, e-mail: elsnz@mail.ru, a.v.antonov91@gmail.com

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CATENARIES IN THE EUROPEAN UNION AND UKRAINE: THE ORGANIZATION OF A RELIABLE CURRENT COLLECTION

Introduction speed and high speed in railways is demanded solving a lot of scientific problems. There are creating a new contact line, providing reliability traction friction and compatibility systems for organization high speed in traction power supply. Comparing analyzes of using contact lines in countries of European Union and Ukraine are done in article. Study is provided in two areas. There are technical analysis of the design parameters and compare the existing regulatory framework. Characteristic features of contact lines in in countries of European Union and Ukraine was analyzed. Principal differences were founded and areas for further development were identified. Evaluation of the technical capabilities of existing contact lines to provide reliable traction friction in introduction high speed in railways was done. Existing contact lines which using in Ukrainian railways can be using for introduction high speed in railways after conducting the appropriate modernization. At the same time, we have to carry out work on the unification of domestic current collectors and current collectors elements to provide conditions for interoperability. Technical capabilities of the existing contact lines of Ukraine are insufficient for introduction high speed in railways. We have to do the necessary complex scientific and engineering research which will contribute improving the quality of traction friction.

Keywords: contact network, traction friction, high-speed motion, interoperability, europantograph.

Internal reviewer *Getman G. K.*

External reviewer *Denisyuk S. P.*

© Яндович В. Н. и др., 2014