



РАЗРАБОТКА КАБЕЛЬНЫХ ВВОДОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Ю.В. Образцов, канд. техн. наук, зам. заведующего отделением;
П.В. Фурсов, канд. техн. наук, научный сотрудник;
С.С. Ветлугаев, инженер;
Л.Е. Макаров, канд. техн. наук, заведующий лабораторией;
 ОАО «ВНИИКП»

Высоковольтные кабельные вводы обеспечивают передачу высокого напряжения от токоприемника на крыше вагона к первичной обмотке тягового трансформатора, установленного под полом вагона. Конструктивно высоковольтный ввод состоит из одножильного кабеля длиной около 6 м, а также двух концевых муфт – верхней, устанавливаемой на крыше моторного вагона, и нижней, соединяемой с первичной обмоткой тягового трансформатора.

ОАО «ВНИИКП» на протяжении всей истории развития уделяет значительное внимание разработкам кабелей и проводов для подвижного состава железнодорожного транспорта. Наряду с разработками широкой номенклатуры различных марок проводов и кабелей для подвижного состава институт постоянно проводил работу по усовершенствованию конструкций высоковольтных кабельных вводов, которые являются важным звеном энергоснабжения электропоездов, работающих в контактных сетях с номинальным напряжением 25 кВ. Предварительными измерениями перенапряжений при различных режимах коммутации силовой цепи электропоезда и контактной сети была установлена максимальная кратность коммутационных перенапряжений для таких сетей по отношению к номинальному значению напряжения сети на уровне 2,0–3,0 длительностью до 3000 мкс.

Еще в 70-е годы прошлого столетия институтом была проведена разработка кабельных вводов на основе кабеля ВР-25 на напряжение 30 кВ с резиновой изоляцией толщиной 17,58 мм и экраном из электропроводящей резины толщиной 1 мм. На экран кабеля накладывали обмотку из электропроводящих тканевых лент и оплетку из медных луженых проволок диаметром 0,26 мм. В верхней и нижней муфтах кабельного ввода использовали фарфоровый изолятор ПМ-35 с девятью ребрами; общая высота изолятора 770 мм, усиливающая изоляция концевых муфт выполнялась вручную стеклотентой, пропитанной эпоксидным компаундом. Концевые муфты заполнялись массой МК-45. Герметичность муфты в месте выхода кабеля достигалась с помощью сальникового устройства с уплотнительной резиновой прокладкой и затяжной гайкой.

Последующая эксплуатация кабельных вводов после пробега электропоездов до 15 000 км выявила недостатки конструкции. Около 85 % повреждений имели место внут-

ри концевых муфт, 15 % – в кабеле вблизи верхней концевой муфты, все пробой изоляции имели место в холодное время года. Эти недостатки связаны с возможным вытеканием пропитывающего состава и появлением воздушных включений в усиливающей изоляции муфт из-за разных коэффициентов усадки изоляции концевой муфты и кабеля в холодное время года.

Разработка новой конструкции кабельного ввода с использованием новых материалов и принципиально новых технологических решений была выполнена в 2004–2006 годы по техническому заданию на модернизацию электропоезда переменного тока серии ЭД-9М.

Модернизированный кабельный ввод должен заменить существующую систему передачи высокого напряжения от токоприемника к первичной обмотке трансформатора, которая на поездах серии ЭД-9М выполнялась с помощью шины высокого напряжения и двух проходных вводов из фарфора. Отмечалось, что использование вместо шин кабельного ввода позволит увеличить полезную площадь пассажирского салона моторного вагона, а также увеличить пассажироместимость и повысить безопасность эксплуатации электропоезда.

Основные требования к высоковольтному кабельному вводу приведены в таблице.

Таблица

Наименование параметра	Величина показателя
Номинальное рабочее напряжение промышленной частоты, U_0 , кВ	25
Наибольшее рабочее напряжение промышленной частоты (режим работы продолжительный), кВ	29
Номинальный рабочий ток, А	100
Длина пути утечки концевых муфт высоковольтного кабельного ввода, мм	≥1000
Одноминутное испытательное напряжение промышленной частоты изоляции не бывшего в эксплуатации, сухого и чистого высоковольтного ввода, кВ	75

Высоковольтный кабельный ввод предназначен для климатического исполнения УХЛ, категория размещения «1» по ГОСТ 15150–69 при температуре окружающего воздуха от –60 °С до +40 °С. При этом возможно образование на поверхности ввода гололеда толщиной до 20 мм с последующим оттаиванием.

Учитывая необходимость согласования конструкции ввода с пожарным надзором на железнодорожном транспорте и с учетом требования нераспространения горения при одиночной прокладке кабеля, для ввода был принят кабель типа АПвВ 1×95/25–35 с оболочкой из поливинилхлоридного пластиката, разработанный ОАО «ВНИИКП» в 2004 году. Кабель удовлетворяет требованиям минимального радиуса изгиба при прокладке не менее $15 D_n$, где D_n – диаметр кабеля по оболочке, а при использовании специального шаблона допускается минимальный радиус изгиба $7,5 D_n$. Размеры кабеля также обеспечивают возможность установки на нем трансформатора тока типа ТКШ, который используется в автоматической системе защиты электропоезда.

На основании опыта эксплуатации предыдущих моделей кабельного ввода было принято решение отказаться от фарфорового изолятора и жидкостного заполнения муфт и использовать конструкции, выполненные из полимерных материалов. Облегчив задачу обслуживания концевых муфт вводов, это решение привело к дополнительным требованиям к новым изделиям. Они были ранее сформулированы для изоляторов из полимерных материалов, работающих в условиях контактных сетей железнодорожного транспорта.

Содержание требований таково:

1. Внешняя изоляция муфты кабельного ввода должна обладать трекинг-эрозионной стойкостью и выдерживать испытания по ГОСТ 28856–90 в течение 500 ч с внешним загрязнением при испытательном напряжении 32 кВ;

2. Концевая муфта должна обладать герметичностью и выдерживать испытания на стойкость к проникновению влаги по ГОСТ Р 51204–98.

Внешняя изоляция обеих муфт (рис. 1) состоит из термоусаживаемой трубки с ребрами, которые выполнены из трекингостойкого материала. При этом ребра подклеиваются с помощью полимерного клея на наружную трекингостойкую трубку. По удельной длине пути утечки (23 мм/кВ) с учетом установки пяти внешних термоусаживаемых ребер концевые муфты эквивалентны муфтам с фарфоровым изолятором для второго-третьего уровня загрязнения по стандарту МЭК 60815 (1986), который предусматривает промышленные условия эксплуатации с высокой плотностью загрязняющих частиц.

Внутренняя изоляция муфт содержит элементы, регулирующие напряженность электрического поля, выполненные в виде последовательно осаживаемых термоусаживаемых трубок с нелинейными электрическими характеристиками. Максимальные габаритные размеры муфт: диаметр 200 мм, высота 650 мм.

Для проведения последующих испытаний кабельного ввода были изготовлены четыре опытных образца кабельного ввода, которые предварительно прошли приемосдаточные испытания напряжением промышленной частоты 75 кВ (1 мин).

Испытания на трекинг-эрозионную стойкость и стойкость к проникновению влаги были проведены в ВЭИ, г. Москва. При испытаниях образец помещался в камеру, где на всем протяжении электрических испытаний поверхность одной из муфт увлажнялась оседающим туманом с водным раствором поваренной соли с удельным объемным электрическим сопротивлением 750 Ом·см. Напряжение 32 кВ промышленной частоты при испытаниях прикладывалось в течение 500 ч. После выдержки образца был проведен осмотр поверхности муфты, находившейся в камере тумана.

Критических повреждений – проводящих побегов, эрозионных кратеров, каналов и трещин глубиной свыше 30 % толщины наружной трубки – обнаружено не было.

После этого образец был испытан напряжением промышленной частоты 60 кВ (30 мин), которое он выдержал без повреждений.

Испытание на стойкость к проникновению влаги по ГОСТ Р 51204–98 было проведено на отдельном образце и заключалось в выдержке муфт в течение 45 ч попеременно в кипящей воде (41 ч) и холодной (+20 °С) воде (4 ч). Затем на образец было подано контрольное напряжение промышленной частоты 60 кВ (30 мин), которое он выдержал.

На третьем опытном образце кабельного ввода были проведены испытания 20-суточными циклами нагрева и охлаждения при напряжении 50 кВ ($2,0 U_0$), рекомендованные МЭК 60840 (2004). Каждый цикл включал 8 ч нагрева до температуры жилы 95–100 °С и 16 ч охлаждения при температуре окружающей среды. Перед началом и в конце циклов нагрева измерялся уровень ЧР, величина которых при всех измерениях не превышала 10 пКл.

На этом же образце были проведены испытания десятью положительными и десятью отрицательными

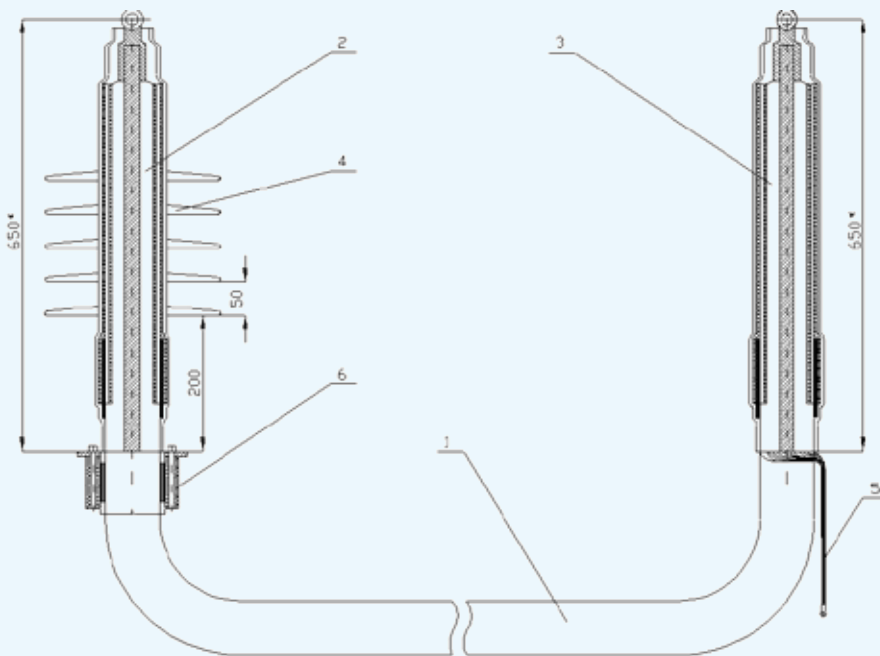


Рис. 1. Кабельный ввод ВК-25:

1 – кабель; 2 – верхняя муфта; 3 – нижняя муфта; 4 – ребро юбки; 5 – проволоки заземления; 6 – муфта RS 68

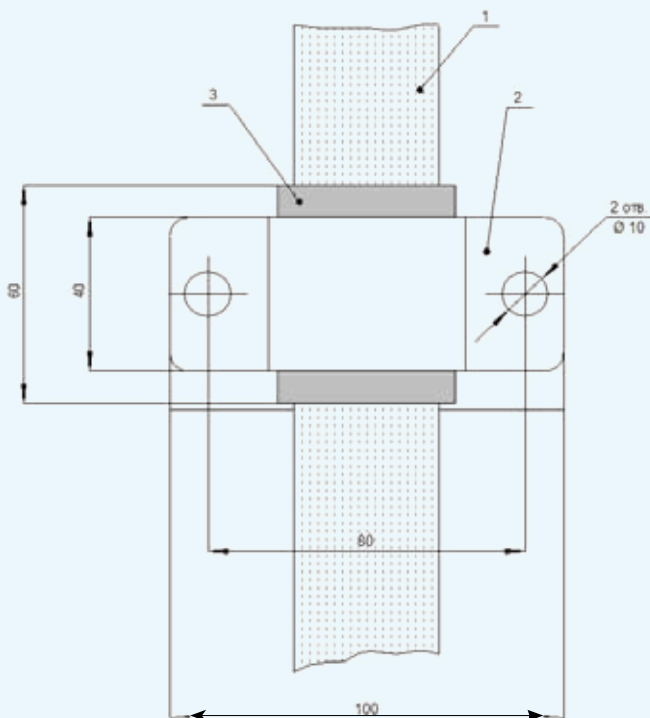


Рис. 2. Закрепление кабеля:

1 – кабель; 2 – скоба из алюминиевого сплава; 3 – резиновая прокладка

ми грозowymi импульсами стандартной волны 1,2–3/50 мкс напряжением 170 кВ при температуре жилы кабеля ввода 95–100 °С. После положительных результатов испытаний грозowymi импульсами кабельный ввод был испытан напряжением промышленной частоты 63 кВ ($2,5 U_0$).



Рис. 3. Фото верхней муфты ввода кабельного ВК-25, установленной на крыше вагона электропоезда переменного тока

Не все требования технического задания были подтверждены результатами испытаний трех кабельных вводов. В частности, без ответа остались два вопроса, связанные с механическими воздействиями на кабельный ввод при его эксплуатации.

Во-первых, это установка и закрепление кабельного ввода, обеспечивающие его устойчивость при движении электропоезда со скоростью до 160 км/ч.

При монтаже кабельного ввода производится закрепление кабеля на несущих конструкциях вагона с помощью скоб из алюминиевого сплава (рис. 2) с интервалом 1 м, при соблюдении условия изгиба кабеля. Так как концевая муфта не является самонесущей, то для исключения передачи механических усилий должно быть предусмотрено ее закрепление в верхней и нижней части. С этой целью верхняя концевая муфта, подверженная воздействию набегающего потока воздуха, закрепляется в нижней части на крыше вагона с помощью разъемного фланца, а токовый вывод муфты соединяется с помощью жесткой шины с опорным изолятором, установленным на крыше вагона. Соединение кабельного ввода с токоприемником вагона производилось также с помощью системы жестких шин. Нижняя концевая муфта устанавливалась в закрытом кожухе, исключающем воздействие воздушного потока.

Во-вторых, кабельный ввод должен обеспечивать надежную работу при уровне вибрации, с частотой 0,5–100 Гц и многократных и одиночных ударах длительностью 2–20 мс с ускорением до 30 м/с^2 , которые свойственны воздействиям в кузовах и под кузовами вагонов железнодорожного транспорта. Так как эти воздействия невозможно было воспроизвести в условиях одной лаборатории, было предусмотрено проведение приемочных испытаний опытного образца кабельного ввода в составе электропоезда.

Для этого четвертый образец кабельного ввода (рис. 3) был установлен на опытном вагоне электропоезда переменного тока ЭД9Э, который в течение двух сезонов (осень/зима) прошел ходовые испытания на опытном полигоне НИИ железнодорожного транспорта в Щербинке. После ходовых испытаний вагона при пробеге свыше 12 500 км было проведено электрическое испытание одноименным напряжением переменного тока изоляции электрического оборудования вагона. Опытный образец кабельного ввода выдержал испытания без замечаний. По результатам ходовых испытаний была отмечена необходимость совершенствования герметичности в месте установки верхней муфты на крыше вагона.

С этой целью разъемные фланцы узла уплотнения кабеля были заменены на уплотнительные муфты фирмы Roxtec (Швеция) с уплотнительным модулем с изменяемым диаметром, который состоит из двух половин и имеет удаляемые слои, обеспечивающие точную подгонку муфты под наружный диаметр кабеля. Две муфты типа RS-68 обеспечивают герметизацию кабеля в зоне прохода кабеля через крышу и пол вагона.

В 2007 году 20 кабельных вводов было изготовлено и смонтировано на поездах ЭД9М, выпускаемых Демитровским машиностроительным заводом для опытно-промышленной эксплуатации на Восточно-Сибирской железной дороге.