

**В.И. Бушуев** – кандидат технических наук (Свердловская ж.д.)

**С.В. Бушуев** – кандидат технических наук (НИЛ КСА)

## **СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ – ЗАБЛУЖДЕНИЯ И РЕАЛЬНОСТЬ**

В повышениях интенсивности и скорости движения поездов резко возрастает роль надежности устройств автоматики, одним из основных элементов которой являются рельсовые цепи. Причем на них приходится около 60 – 65% отказов автоблокировки, распределенных в среднем примерно одинаково между тремя основными элементами рельсовой линии: изоляцией рельсов от балласта, изолирующими и токопроводными стыками.

Однако наиболее актуальной является проблема надежности по изоляции. Поскольку во многом от нее зависит выполнение шунтового и контрольного режимов.

В 70-х гг. по заданию Главка сигнализации и связи Уральское отделение ВНИИЖТа впервые и достаточно глубоко проработало этот вопрос. При этом было выявлено, что сформировавшиеся к тому времени представления об изоляции в большей части являются заблуждениями. К наиболее распространенным из них можно отнести следующие:

минимальное сопротивление изоляции наступает при максимальной влажности балласта, а его величина определяется степенью контактирования балласта с металлическими элементами верхнего строения пути (рельсами, подкладками, противоугонами, костылями), а также степенью его засорения, загрязнения и засоления. Поэтому, качественно подрезая балласт, можно всегда получить нормальное сопротивление изоляции 1 Ом\*км.

колебания сопротивления изоляции при изменении погоды обусловлены намоканием и просыханием балласта. Изменения эти происходят медленно, поэтому, визуально контролируя влажность балласта, электромеханик может успеть своевременно подрегулировать рельсовую цепь по погодным условиям.

Испытания показали, что величина сопротивления балласта и механизмы влияния на нее совсем не такие. Цель данной статьи сжатое и достаточно популярное изложение результатов исследований изоляции рельсовой цепи, поскольку за более чем 30-летний период произошла не одна смена поколений специалистов, а публикации на эту тему имели ограниченный характер.

## **ПРОЦЕССЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ВО ВРЕМЕНИ**

В первую очередь исследовали один из основных вопросов – как изменяется минимальное сопротивление изоляции: ухудшается под воздействием случайных факторов только на некоторых рельсовых цепях или закономерно на всех без исключения?

Для этого выбрали участки с чистым и засоленным асбестовым балластом и сформировали выборки рельсовых цепей по одинаковому сроку службы после капитального ремонта.

Анализ полученного статистического материала показал, что процесс ухудшения изоляции рельсовых цепей идет на всех без исключения участках и всех рельсовых це-

пях, т. е. процесс ухудшения изоляции во времени является закономерным. Причем усредненная максимальная проводимость изоляции (величина, обратная минимальному сопротивлению) увеличивается с ростом срока службы верхнего строения пути по линейному закону, начиная со значения 0,5 См/км (Сименс на километр), что соответствует сопротивлению 2 Ом\*км, независимо от степени засоления балласта. При увеличении степени засоленности балласта скорость ухудшения изоляции возрастает.

Кроме того, рельсовые цепи одного срока службы независимо от засоленности участка всегда различаются между собой по величине минимального сопротивления изоляции почти в 10 раз, при этом самая хорошая и самая плохая отличаются от среднего примерно в три раза.

К примеру, при чистом асбестовом балласте среднее значение минимального сопротивления изоляции достигает нормативной величины через 8 лет, а на засоленном через 2,5 года. В это время одни рельсовые цепи участка будут иметь сопротивление 0,3 Ом/км, а другие – 3 Ом\*км.

## **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ НА ИЗОЛЯЦИЮ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ**

Специалисты УО ВНИИЖТ разработали прибор, позволяющий дифференциальным методом за счет катушек индуктивности, устанавливаемых на рельс, измерять величину стекающего с рельса тока на участке между катушками. Он имеет автономное питание и работает на частоте 50 кГц, поэтому не мешает работе устройств СЦБ. Максимальное измеряемое сопротивление – 60 кОм  $\pm 10\%$ .

Исследования показали, что ток с рельса стекает в основном через костыли в шпалу, а затем около 80% тока вытекает из шпалы через боковые поверхности и подошву в балласт и только 20% идет к другому рельсу по самой шпале.

Утечка тока через непосредственный контакт металлических элементов рельсошпальной решетки и балласта, которая считалась единственно возможной, на сильно засоренных участках, как правило, не превышает 20% от тока, стекающего через костыли.

Естественно, это усредненные соотношения для магистральных путей. Они не зависят от срока службы верхнего строения пути и величины минимального сопротивления изоляции рельсовых цепей. Отклонения от них редко превышают  $\pm 10\%$ .

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПУТЕВЫХ РАБОТ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ИЗОЛЯЦИИ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ**

Основным мероприятием до сих пор считается подрезка балласта, которая должна ликвидировать прямой контакт между балластом и металлическими элементами рельсошпальной решетки (рельсами, противоугонами, подкладками и костылями).

Однако исследования показали, что она не может дать улучшения изоляции более чем на 20%. В реальных же условиях удалось получить эффект не более 17%. В связи с такой низкой эффективностью подрезки балласта были исследованы другие способы восстановления изоляции: замена или промывка балласта, а также замена токопроводных шпал.

В 70-е годы считалось, что древесина шпал не пропускает воду, поэтому все шпалы являются хорошими изоляторами, а к токопроводным относятся только гнилые и треснутые. Однако измерения в эксплуатационных условиях показали, что в принципе все шпалы токопроводны, причем по электропроводности они плавно распределяются согласно нормально-логарифмическому закону. При этом гнилые и треснутые шпалы

хотя и имеют несколько большую электропроводность, но не выпадают из распределения.

Интересно, что характер распределения электропроводности шпал не зависит ни от засоленности участка, ни от срока их службы. Меняются только числовые характеристики. При этом количественные соотношения настолько стабильны, что по величине минимального сопротивления изоляции любой конкретной рельсовой цепи можно почти точно назвать среднее, минимальное и максимальное значение сопротивления шпал.

Если для упрощения расчетов принять количество шпал 2000 вместо 1840 на километр, то среднее сопротивление шпалы между рельсом и землей (балластом) в килоомах будет численно равно сопротивлению изоляции данной рельсовой цепи в омах на километр. При этом самая хорошая шпала будет иметь всегда сопротивление в 3 раза больше среднего значения, а самая плохая – в 3 раза меньше.

Например, при сопротивлении изоляции  $0,3 \text{ Ом} \cdot \text{км}$  среднее значение сопротивления шпал составит  $0,3 \text{ кОм}$ , самое хорошее –  $0,9 \text{ кОм}$ , а самое плохое –  $0,1 \text{ кОм}$ .

Расчеты показали, что восстанавливать изоляцию рельсовых цепей за счет замены шпал с наибольшей электропроводностью неэффективно, так как для улучшения изоляции на 20% нужно сменить около 20% шпал, а для улучшения изоляции в два раза нужно сменить 40%. Это экономически нецелесообразно.

Другим способом улучшения изоляции является замена старого (более электропроводного) балласта на новый. Результаты исследований показали, что на незасоленных участках он может дать улучшение изоляции на 10...40%.

Учитывая большие затраты средств на замену балласта, необходимость прекращения движения на время проведения работ и ограничения скоростей движения на время стабилизации балластной призмы, следует признать, что этот метод бесперспективен. На засоленных участках он дает улучшение изоляции в 2 – 2,5 раза, но эффект практически теряется в течение года из-за повторного засоления.

Наиболее эффективна замена мелкозернистых балластных материалов на щебень, но в условиях сильного засорения балластной призмы сыпучими грузами, теряемыми с подвижного состава, щебень теряет свои свойства через полтора – два года.

Таким образом, замена балласта как метод решения проблемы восстановления изоляции рельсовых цепей в реальных условиях не имеет практического значения из-за низкой эффективности.

В связи с этим более результативным следует признать метод промывки засоленного балласта. Дело в том, что хорошо растворимые соли легко вымываются из балласта. Так, например, 100 мм осадков практически полностью вымывают соли из балластной призмы, но эффект быстро теряется из-за повторного засоления.

Из сказанного следует, что восстановление изоляции является практически нерешаемым, поэтому мы должны, во-первых, научиться обеспечивать надежную работу рельсовых цепей при реальном состоянии изоляции, во-вторых, раз работать и по возможности осуществить мероприятия по снижению скорости ухудшения изоляции рельсовых цепей.

## **МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ СКОРОСТИ УХУДШЕНИЯ (СТАРЕНИЯ) ИЗОЛЯЦИИ**

Снизить скорость старения изоляции можно двумя путями: повышением диэлектрических свойств балласта и шпал и применением изолирующих элементов между рельсом и шпалами.

В основном ток утечки проходит через костыли в древесину шпал, поэтому его величина однозначно зависит от удельной электропроводности древесины в зоне костылей, увеличивающейся в процессе эксплуатации.

Это происходит за счет накопления солей в древесине под действием процесса испарения влаги с поверхности шпал. Причем с верхней плоскости шпалы испаряется дистиллированная вода, а из балласта через подошву поступает с растворенными солями. Соли накапливаются в древесине, увеличивая ее электропроводность.

Линейность характеристики ухудшения изоляции рельсовых цепей от срока службы обусловлена примерно одинаковым ежегодным объемом испарений с поверхности шпал и постоянством концентрации солей в балласте.

Таким образом, основными параметрами, определяющими скорость старения изоляции рельсовых цепей, являются влагопроводность для шпал и концентрация хорошо растворимых солей для балласта. Разброс шпал одного срока службы по электропроводности обусловлен разной плотностью их древесины, от которой зависит влагопроводность.

Следовательно, для уменьшения скорости старения изоляции рельсовых цепей на деревянных шпалах следует снижать влагопроводность шпал, применять балластные материалы с меньшей концентрацией хорошо растворимых солей, а также снижать интенсивность засоления балластной призмы теряемыми с подвижного состава солями.

С 1977 по 1980 г. Уральское отделение ВНИИЖТ совместно с лабораторией верхнего строения пути ВНИИЖТ исследовали ряд способов повышения диэлектрических свойств верхнего строения пути. Для деревянных шпал были испытаны два варианта: так называемая почти сквозная пропитка в месте крепления подкладок и применение эпоксидной смолы для создания изоляции между костылями и древесиной шпал.

В первом случае в месте крепления подкладок делалось множество сквозных проколов шпалы, куда под давлением загонялся креозот. Это позволило улучшить изоляцию и снизить скорость старения примерно в два раза. Изоляция костылей дала эффект всего 17%. Однако сквозная пропитка не нашла применения из-за ведомственных барьеров.

Таким образом, из всех способов снижения скорости старения изоляции рельсовых цепей реальным оказался только способ повышения диэлектрических свойств балластных материалов. Для его реализации на основе исследований Уральского отделения ВНИИЖТ разработана и включена в ГОСТ методика испытаний балластных материалов на электроизоляционные свойства.

## **ИЗМЕНЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ**

По существующим представлениям причиной колебаний величины сопротивления изоляции рельсовых цепей при изменении погоды является изменение влажности балласта, причем эта величина изменяется медленно по мере намокания и просыхания балласта.

В процессе исследований выяснилось, что на самом деле это происходит из-за плохого контакта между костылями и рельсами, который улучшается при попадании влаги в зазоры между ними.

В реальных условиях часть костылей не имеет прямого металлического контакта с рельсами за счет образования зазоров при прогибе рельсов или за счет окисления и загрязнения их поверхностей.

При попадании влаги в эти зазоры все шпалы оказываются подключенными к рельсам, поэтому сопротивление изоляции снижается до минимума, который определяется сопротивлением самих шпал.

Из этого можно сделать вывод, что величина колебания сопротивления изоляции при изменении влажности (погоды) определяется степенью контактирования костылей с рельсами. Скорость уменьшения сопротивления изоляции определяется скоростью заполнения зазоров влагой, а скорость увеличения – её высыханием в зазорах.

В реальных условиях сопротивление падает до минимума за 10 – 15 с после начала дождя, а после его окончания может увеличиться до максимума за 15 – 20 мин (при ветре в жаркую погоду).

Так как амплитуда колебания сопротивления определяется только состоянием контакта между рельсами и костылями и не зависит от величины сопротивления изоляции, ее удобно оценивать отношением минимального сопротивления к максимальному в летнее время. Это отношение назовем коэффициентом погоды.

Как оказалось, все рельсовые цепи на магистральных путях плавно распределены по коэффициенту погоды согласно закону, похожему на логарифмически-нормальный. Среднее значение коэффициента равно примерно двум, т. е. большинство рельсовых цепей при изменении погоды изменяют свое сопротивление изоляции в два раза.

Наименьший коэффициент (1,1) наблюдается на путях после подбивки костылей, а наибольший (5...6) соответствует пути, на котором эта работа давно не проводилась. При хорошо забитых костылях колебания сопротивления изоляции обусловлены только намоканием поверхности шпал и составляют всего 10 – 15%.

Что касается температурной зависимости, то температурная постоянная изоляции составляет величину 3 – 3,5% на градус Цельсия. Именно поэтому осенью отказов меньше, чем летом, хотя влажность значительно выше. Нетрудно посчитать, что только из-за разницы температуры балласта изоляция осенью в 1,5 – 2 раза лучше, чем летом.

Из всего этого можно сделать вывод, что минимальное сопротивление изоляции определяется не качеством подрезки и электропроводностью балласта (влажностью, загрязненностью, засоленностью), а удельной электропроводностью древесины шпал, которая возрастает во времени под действием накопления в ней хорошо растворимых солей. Процесс ухудшения изоляции необратим, поэтому подрезка должна применяться в отдельных конкретных случаях, а не существовать как общее правило.

Кроме того, колебания сопротивления изоляции при изменении погоды обусловлены не намоканием и просыханием балласта, а изменением влажности в зазорах между костылями и рельсами, происходящим настолько быстро, что не может быть и речи о подрегулировке рельсовых цепей по погодным и сезонным условиям.

Из приведенного выше анализа следует, что все традиционные концепции обслуживания и регулировки рельсовых цепей несостоятельны. Разработанная УО ВНИИЖТа новая технология, успешно применяемая на Свердловской до роге уже более 10 лет, позволяет эксплуатировать рельсовые цепи при реальном состоянии изоляции круглый год без подрегулировки по погодным условиям.

### **Статья опубликована**

С.В.Бушуев, В.И.Бушуев. Сопротивление изоляции рельсовых цепей – заблуждения и реальность. //Автоматика, связь информатика. №6. – М: Транспорт, 2003 г. С. 25 – 27.