

УДК 621:315

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ В РЕГИОНАХ С ТЯЖЕЛЫМИ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ¹

© 2007 Н.А.Шергунова²

В результате комплексных экспериментальных исследований по исследованию электрических свойств изолирующих конструкций воздушных линий были разработаны математические модели зависимости электрического сопротивления капиллярно-пористых коллоидных материалов, представляющих собой совокупность соотношений связывающих этот параметр с различными действующими одновременно факторами.

Повышение надежности систем электроснабжения электрифицированных железных дорог, нетяговых потребителей и устройств СЦБ — проблема исключительно актуальная, особенно в настоящее время, когда ускоряется интенсивность движения и возрастает вес поездов, увеличивается загрязненность атмосферы и др.

Неполный учет факторов, вызывающих деструкцию изоляционных конструкций, будет и в дальнейшем приводить к перекрытиям изоляции, возгоранию опор и траверс, особенно в регионах с загрязненной атмосферой.

В настоящее время древесина продолжает оставаться конкурирующим металлу и железобетону материалом в электросетевом строительстве как в нашей стране, так и за рубежом. В США, Канаде и ряде европейских стран в строительстве не только линий 20–35 кВ, но и более высокого напряжения она используется широко. В Японии большинство ЛЭП напряжением до 60 кВ сооружено на деревянных опорах (ДО). Даже в малолесных странах ДО находят широкое применение [1, 2].

Протяженность железнодорожных линий продольного электроснабжения МПС напряжением 6–35 кВ равна 196,7 тыс. км, основных ВЛ СЦБ, обслуживаемых участками электроснабжения, — около 80 тыс. км, а линий продольного электроснабжения, от которых осуществляется резервное питание устройств автоблокировки, более 35 тыс. км [3].

¹Представлена доктором медицинских наук профессором П.П.Пургиным.

²Шергунова Наталья Алексеевна, Самарский государственный университет путей сообщения 443066, Россия, г. Самара, 1-й Безымянный пер., 18.

Достоинством ДО являются меньшая масса вследствие относительно более высокой удельной прочности древесины по сравнению с бетоном; лучшая транспортабельность; легкость обработки древесины и удобство при монтаже; повышенная долговечность при эксплуатации в химически агрессивных средах; меньшая теплопроводность; низкий коэффициент линейного расширения и пониженная электропроводность. Удельная прочность древесины при растяжении вдоль волокон примерно такая же, как и у высокопрочной стали. Меньшая зависимость себестоимости и фондоемкости изготовления от серийности и другие преимущества делают натуральную древесину наиболее целесообразным материалом для сооружения изоляционных конструкций воздушных линий (ВЛ).

Глубокие и всесторонние исследования древесины необходимы для совершенствования и создания новых электроизоляционных материалов, применяемых в системах электрической изоляции, разработки рациональных типов деревянных траверс и брусев типа: ТВО, ТВ, ТСО и ТС, Б; деревянных кронштейнов ДО, ДНО, ДНОУ, устанавливаемых на опорах КС для питания нетяговых потребителей; опорно-поддерживающих конструкций воздушных линий; улучшения природных свойств и изыскания новых областей применения древесины.

К основным недостаткам деревянных конструкций ВЛ следует отнести подверженность загниванию и в этой связи меньший срок службы при эксплуатации в условиях повышенной влажности и загрязненности окружающей среды, возгораемость при низовых пожарах, от прямых ударов молнии или от токов утечки по изоляторам.

В основе всех процессов теплового разрушения деревянных изоляционных конструкций ВЛ от токов утечки лежит процесс изменения электрических свойств древесины. Эти свойства зависят от качества, вида, концентрации и способа химической пропитки; гигроскопичности древесины; атмосферных условий и др.

Разрушение ДО токами утечки связано с увлажнением, в результате эксплуатации, загрязненных поверхностей траверс и опор, находящихся под высоким напряжением. В результате протекания токов утечки на поверхности изолирующих конструкций ВЛ образуются углеродистые канавки (треки) или дефекты со сложным рисунком.

Для оценки степени разрушения древесины траверс и опор от токов утечки, а также в целях организации мер по ограничению этого явления, уменьшения материального ущерба, связанного с возгоранием и пожарами ДО, разработана классификация треков — характерных мест их образования на поверхности траверс и опор (рис. 1).

Анализ натурных исследований состояния древесины опор и траверс ВЛ показал, что разрушение древесины под действием токов утечки начинается в зоне заусениц, острых бортиков и металлических выступов или неровностей штампованных деталей арматуры крепления.

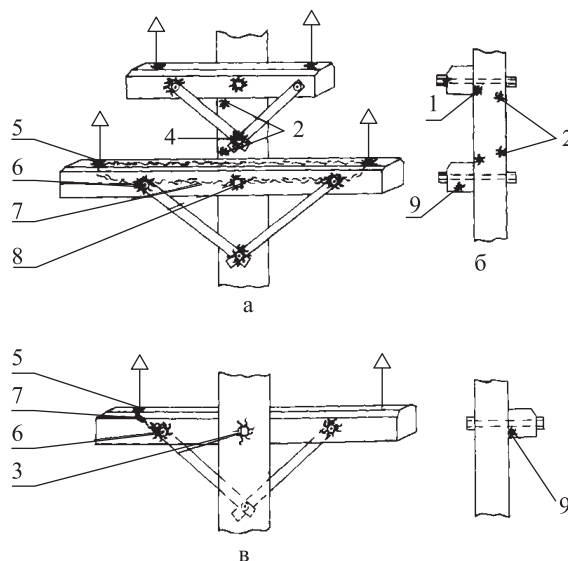


Рис. 1. Распределение треков (дефектов) на деревянных элементах:

а — вид опоры со стороны расположения траверсы; б — вид опоры с противоположной стороны крепления траверсы; в — вид опоры сбоку

На рисунке под номером 1 указан участок поверхности стойки под траверсой в зоне центрального болта крепления ее к опоре; 2 — то же между центральными болтами крепления траверс к опоре; 3 — участок поверхности под центральным болтом крепления; 4 — то же в зоне крепления укосины; 5 — участок поверхности траверсы под штырем (наиболее часто встречающийся дефект); 6 — то же под укосиной и в зоне болта ее крепления; 7 — участки боковых поверхностей траверсы между штырями, металлическими элементами крепления и укосины; 8 — участок поверхности траверсы в зоне центрального болта крепления; 9 — участок боковой поверхности траверсы, обращенной к опоре в зоне центрального болта ее крепления

Пожары возникали на траверсах в зоне крепления их к укосинам и центрального болта. Пожары траверс могут завершаться возгоранием древесины в зоне центрального болта ее крепления. Пожар обусловлен последовательным образованием и развитием дефектов 5, 6, 7. Одновременное образование и развитие дефектов 5, 6, 7 — наиболее распространенный процесс разрушения древесины обследованного участка ВЛ.

Однако многочисленные факторы не всегда способствует развитию образования треков, переходящих в пожары. На обследованном участке ВЛ имеется большое количество траверс, разрушенных действием токов утечки, но по тем или иным причинам не сгоревших. Установлена зависимость состояния поверхности древесины от действия токов утечки и сроков эксплуатации.

Результаты обследования состояния поверхностей сгоревших траверс и опор, мест возникновения очага возгорания на них, то есть дефектов, вызывающих пожар и аварию на линии, позволили заключить следующее.

Развитие сети треков на поверхности траверс и опор ВЛ происходит по следующим этапам. Первый характеризуется образованием треков на поверхности элемента опоры, прилегающей к металлическим частям. Это явление наблюдается через 2–3 года эксплуатации в условиях регионов с загрязненной атмосферой. На втором этапе развитие сети треков завершается соединением металлических креплений опоры или траверсы. Этот период более длителен и сопровождается расширением и углублением треков на поверхности древесины, образованием сложной картины их развития. Испещренные треками участки поверхности древесины траверс или опор являются местами наиболее интенсивных отложений и накоплений пыли. Однако наиболее благоприятным для возгорания древесины изоляционных конструкций ВЛ можно считать состояние после 5–7 лет эксплуатации. Возгорание элементов изоляционных конструкций ухудшает их техническое состояние, ускоряет процессы износа и старения конструкций, снижая пределы допустимых нагрузок ВЛ в целом.

Как показало натурное обследование состояния поверхности древесины изоляционных конструкций ВЛ, разрушение идет в двух направлениях, имеется общее начало — трек — и источник образования — ток утечки. В одном случае разрушение развивается по структуре трек-пожар (при благоприятных климатических условиях). Второе направление связано только с ростом площади углеродных мостиков-треков в зависимости от увеличения сроков эксплуатации траверсы. Подобное разрушение траверсы не завершается пожаром и не оказывает существенного влияния на сроки ее эксплуатации по механическим характеристикам древесины.

Возгорание деревянных опор в районах с загрязненной атмосферой вследствие токов утечки в настоящее время является одним из видов повреждений, и проблема защиты их от огнеразрушений в районах с загрязненной атмосферой весьма актуальна. Это подтверждается и сопоставлением времени на восстановление линии после повреждений, вызванных возгоранием и погодными условиями. Внезапный перерыв питания, особенно железнодорожных потребителей, влечет за собой вынужденные задержки движения нескольких поездов и значительный экономический ущерб.

Процесс загрязнения изоляционных конструкций ВЛ 10 кВ весьма сложен и обусловлен рядом факторов, оказывающих неоднозначное влияние и изменяющихся во времени: численностью источников загрязнения атмосферы, характером перевозимых грузов и концентрацией загрязняющих компонентов, их физическими свойствами и химическим составом; метеорологическими условиями и т. д.

Первоочередной параметр, по которому должен осуществляться контроль состояния поверхностных слоев, их состав. Для поверхностей деревянных изоляционных конструкций ВЛ характерна сложная неоднородность. Произведенные исследования позволили определить, что с увеличением времени эксплуатации растет содержание элементов кремния, кальция и частично Сг, то есть увеличивается содержание кремнезема — SiO_2

и CaCO_3 . Содержание других соединений практически не изменяется в зависимости от срока эксплуатации траверс, что вполне объяснимо, так как в процессе их эксплуатации длительное воздействие осадков приводит к вымыванию осевших в древесине растворимых солей. Нарастает лишь запыленность нерастворимыми соединениями кремнеземами и карбонатами. Следует отметить, что в траверсе после 2,5 лет эксплуатации и на поверхности сгоревшей траверсы повышено содержание хрома и меди.

В качестве мер, предотвращающих явления возгорания деревянных изоляционных конструкций за счет снижения влагоабсорбционных характеристик древесины, следует предусматривать очистку элементов деревянных изоляционных конструкций от грязи, классификацию их и повторную пропитку с учетом электрических параметров, которые защитный химический препарат придает пропитанной древесине [4].

Обеспечение длительного срока эксплуатации деревянных изоляционных конструкций ВЛ является одним из основных условий их применения. Важная характеристика конструкций из дерева, применяемых в строительстве и находящихся в эксплуатации на ЛЭП, — срок службы древесины. Срок эксплуатации таких линий, как правило, превышает срок службы деревянных конструкций, поэтому отечественными и зарубежными исследователями большое внимание уделяется вопросу химического воздействия на древесину. Применение эффективных химических средств защиты и способов пропитки древесины позволяет продлить срок службы опор и деревянных изоляционных конструкций от 30–35 до 50 лет, сократить трудоемкость обслуживания деревянных изоляционных конструкций ВЛ и обеспечить экономическую эффективность их применения [5]. В настоящее время для различных условий можно достичь любой продолжительности срока службы древесины путем доступной и экономически приемлемой пропитки защитными химическими препаратами (антисептиками, консервантами и антипиренами), количество которых точно рассчитывается.

Качественная пропитка древесины способна улучшить технологические и эксплуатационные свойства изоляционных конструкций ВЛ.

В связи с тем, что на сегодняшний день недостаточно теоретически изучены электрофизические свойства эксплуатируемой древесины изоляционных конструкций, были проведены экспериментальные исследования с целью определения электрического сопротивления пропитанной различными защитными препаратами древесины в температурно-влажностных режимах эксплуатации.

Полученный экспериментальный материал позволил получить регрессионную модель логарифма электрического сопротивления пропитанной антипиренами древесины от защитных и эксплуатационных факторов.

В связи с тем, что на электрофизические свойства пропитанной древесины изоляционных конструкций влияет большое количество физических факторов, были определены наиболее значимые.

По полученным экспериментальным данным был исследован параметр, в дальнейшем именуемый функцией отклика и обозначаемый Y , ($Y = \ln \rho_V$), характеризующий логарифм удельно-объемного сопротивления пропитанной огнезащитными препаратами (ДМ-11, БС-13, ФБС-255 и СА) древесины изоляционных конструкций ВЛ.

После обработки полученной многомерной выборки для получения эмпирической формулы регрессии был принят следующий вид регрессионной модели:

$$Y = b_0 \times b_1^K \times b_2^C \times b_3^T \times b_4^B,$$

где b_0 — коэффициент, характеризующий среднее значение функции отклика при нулевых значениях всех факторов: K , C , T , B — значения факторов. K — концентрация рабочего раствора защитного химического препарата, %; C — количество сухой соли поглощенное древесиной, кг/м³; T — температура окружающего воздуха, °C; B — относительная влажность окружающего воздуха, %; b_1 , b_2 , b_3 , b_4 — коэффициенты регрессии, характеризующие величину влияния соответствующего фактора на исследуемый процесс.

Стохастическая модель логарифма сопротивления (объемного) пропитанной антипиренами древесины от защитных и эксплуатационных факторов имеет вид

$$Y = 66,432 \cdot 31,769^K \cdot 0,979^C \cdot 0,993^T \cdot 0,617^B.$$

На рис. 2 показаны графики подбора независимых переменных. Приведенные на рис. 2 графики свидетельствуют о сильной зависимости логарифма сопротивления (объемного) деревянных изоляционных конструкций, пропитанных антипиренами, от эксплуатационных и защитных факторов. Полученное уравнение регрессии позволяет определить показатель электроизоляционных свойств комбинированной изоляции "фарфор-дерево" ВЛ от эксплуатационных и защитных факторов.

Результаты исследований показывают, что экспоненциальная кривая наиболее точно описывает динамику логарифма сопротивления (объемного) пропитанной древесины в температурно-влажностных режимах эксплуатации. Из анализа полученной зависимости можно утверждать, что на логарифм сопротивления Y наибольшее влияние оказывают количество поглощенной соли C , относительная влажность окружающей среды B , несколько меньшая концентрация рабочего раствора K и температура T .

Полученная модель может быть использована затем для предсказания значений электрического сопротивления деревянных изоляционных конструкций от внешних воздействий и свойств защитного химического препарата. Это в свою очередь позволит определить защитные химические препараты, придающие при пропитке, наряду с защитными функциями, наилучшие электрические свойства древесине изоляционных конструкций ВЛ в районах с загрязненной атмосферой.

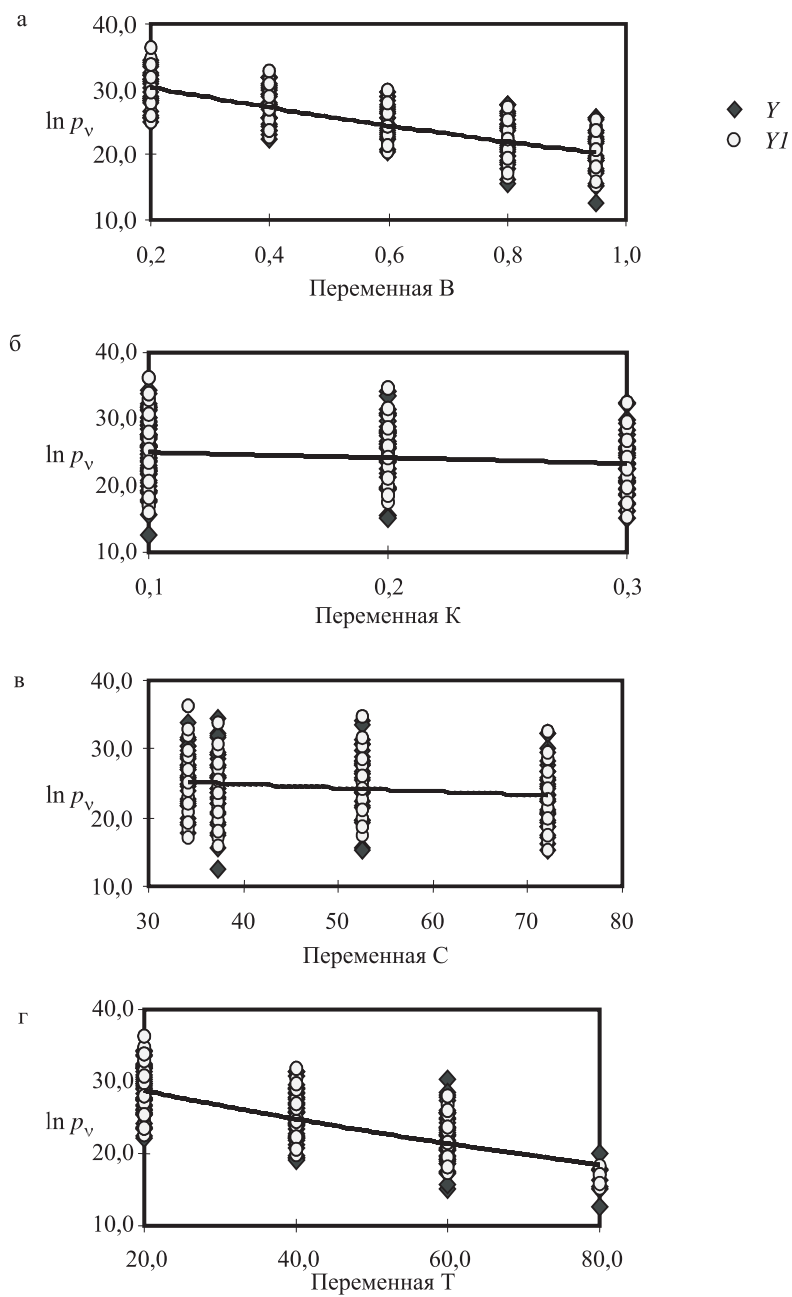


Рис. 2. Графики подбора переменных: а — влажность; б — концентрация рабочего раствора; в — количество поглощенной сухой соли; г — температура. Экспериментальные (Y) и предсказанные (Y1) данные отклика. Линии трендов для Y и Y1

Литература

- [1] Гальперн, М.Л. Деревянные опоры линий электропередачи / М.Л. Гальперн. 2-е изд. – М.: Энергия, 1972. – 224 с.
- [2] Шнелль, Р.В. Целесообразность применения деревянных опор на линиях электропередачи / Р.В. Шнелль, В.Г. Китушин, А.П. Киселев // Электричество. – 1975. – №3. – С. 73–76.
- [3] Герман, Л.А. Устройства и линии электроснабжения автоблокировки / Л.А. Герман, М.И. Векслер, И.А. Шелом. – М.: Транспорт, 1987. – 192 с.
- [4] Электрическое сопротивление натуральной и консервированной древесины сосны / Ю.М. Денисов [и др.] // Электричество. – 1994. – №4. – С. 21–26.
- [5] Справочник по сооружению линий электропередачи напряжением 35–750 кВ: справ. мастера / под ред. М.А. Реута. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 496 с.

Поступила в редакцию 12/V/2006;
в окончательном варианте — 12/V/2006.

A STUDY OF WOOD PROPERTIES OF THE INSULATING DESIGNS THE OPEN-WIRE LINES IN REGIONS WITH HEAVY ECOLOGICAL SERVICE CONDITIONS³

© 2007 N.A. Shergunova⁴

As a result of complex experimental researches on research of electric properties of wood insulation designs of open-wire lines mathematical models of dependence of electric resistance of the capillary – porous colloid materials representing aggregate of relations connecting this parameter with various factors operating simultaneously is developed.

Paper received 12/V/2006.
Paper accepted 12/V/2006.

³Communicated by Dr. Sci. (Chem.) Prof. P.P. Purygin.

⁴Shergunova Nataliya Alekseevna, Samara State University of Railway Communications, 443066, Russia.