ИННОВАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОВОДОВ ДЛЯ ЛЭП

АВТОР:

КОТОВ Р.В.,
ЗАО «3М РОССИЯ»

Россия имеет одну из самых разветвленных сетей линий электропередачи в мире, которая покрывает всю территорию проживания населения и расположения промышленных объектов. Известно, что многие регионы сталкиваются с проблемой ограниченной пропускной способности ЛЭП. В последние десятилетия в российской электроэнергетике активно обсуждается вопрос строительства воздушных линий с использованием проводов нового поколения с повышенными прочностными характеристиками, т.е. с увеличенной длиной габаритного пролета и сокращением количества опор воздушных линий.

Ключевые слова: композитный сердечник, пропускная способность, провода ЛЭП, ACCR, металлическая матрица

Современная ЛЭП

ВВЕДЕНИЕ

Энергопотребление в России в долгосрочной перспективе растет, в условиях пиковых нагрузок стандартные провода ЛЭП перегреваются, растягиваются и провисают ниже допустимой величины, что часто приводит к отключению линий. Из-за сложных географических и метеоусловий многих районов России (скалистых гор, сильных ветров и снегопадов) доступ аварийно-восстановительных бригад к местам повреждений бывает затруднен, и регионы могут оставаться без электроэнергии на протяжении нескольких дней, ожидая устранения повреждений.

В условиях постоянно возрастающих нагрузок классические методы модернизации существующих ЛЭП – строительство дополнительных линий, замена проводов на провода с большими поперечными сечениями, повышение напряжения и другие – имеют ряд существенных недостатков, среди которых: значительные капиталовложения, временные затраты, ограничения на строительство новых линий и дополнительных опор в густонаселенных районах и т.п.

В последние несколько десятилетий в отрасли активно обсуждается вопрос строительства воздушных линий с использованием проводов нового поколения с повышенными прочностными характеристиками, т.е. с увеличенной длиной габаритного пролета и сокращением количества опор воздушных линий (ВЛ). Это обусловлено в первую очередь стесненными условиями и высокой стоимостью земли в современных мегаполисах, а также ожидаемым положительным экономическим эффектом.

КОНСТРУКЦИЯ ПРОВОДА С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КОМПОЗИТНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ

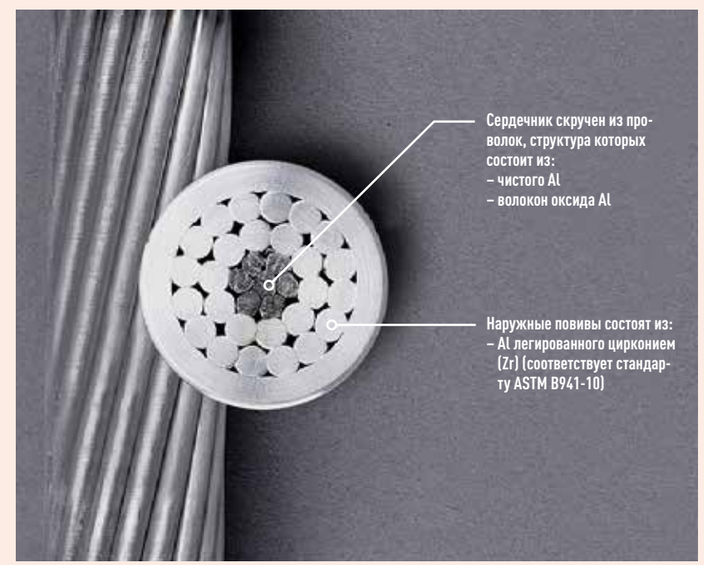

Рис. 1

ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИТНЫХ СЕРДЕЧНИКОВ ДЛЯ ПРОВОДОВ ЛЭП

На мировом и российском рынках появились провода для линий электропередач новых конструкций, способные решать современные задачи эффективного функционирования ЛЭП. Зачастую они все также называются «композитными», что создает некоторые трудности для понимания различий между ними.

Действительно, термин «композитный» применяется к проводам, сделанным более чем из одного материала, хотя сегодня он в большей степени ассоциируется с конструкциями, армированными волокнами различных типов. В неизолированных же проводах композитными пока бывают только сердечники. На сегодняшний день на рынке доступны для коммерческого использования две технологии производства композитных сердечников – «металлическая матрица» (рис. 1) и «полимерная матрица». Важно понимать различия между ними, поскольку они существенны и должны учитываться при проектировании ВЛ.

Технология «металлической матрицы» (metal matrix composite) используется для производства проводов типа ACCR, разработанного компанией 3M в 2002 г. В соответствии с этой технологией производится проволока из алюминия диаметром от 2 до 4,5 мм, армированная несколькими тысячами

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ЗАПАС ПО ТЕМПЕРАТУРЕ

Технология	Предел, °С	Заявленная максимальная температура провода, °С
Металлическая матрица	660	240
Полимерная матрица	215	175–200 (по разным источникам)

Таблица 1

волокон оксида алюминия (Al_2O_3). Далее из этих проволок скручивают сердечник по традиционным методам производства проводов. Оксид алюминия – это керамика и потому отличается устойчивостью к высокой температуре и не проводит электрический ток, как основа матрицы практически не подвержен влиянию большинства факторов окружающей среды – влажности, ультрафиолета, озона и т.д. – и ведет себя не хуже, чем хорошо всем известный сплав марки 1350-Н19. При этом, будучи металлом, алюминий хорошо защищает волокна от пластических изгибов – смятий и смещений, которые являются основной причиной повреждения продольно-ориентированных волокнистых структур.

В основе **технологии «полимерной матрицы»** лежит использование свойств волокон разных типов, которые защищаются и формуются компаундами разных типов. В рамках данной статьи мы рассматриваем сочетание волокон углерода, стекла и эпоксидного компаунда. Именно этот набор является основой для производства сердечника проводов типа, например, АССС. С помощью процесса пултрузии волокна углерода (основной элемент) защищаются сверху волокнами стекла, и вся эта конструкция пропитывается эпоксидным компаундом. В результате получают проволоку (стержень) диаметром от 5 до 11 мм, который и является готовым сердечником для проводов типа АССС. Углеродное волокно само по себе устойчиво к температурам, не проводит электрический ток, стекловолокно служит искусственным барьером для предотвращения коррозии углерода и алюминия (наружного повива провода). Эпоксидный компаунд образует матрицу, скрепляющую все слои. Будучи полимером, эпоксид в разной степени подвержен влиянию факторов окружающей среды и существенно хуже, чем алюминий, противостоит пластическим деформациям волокон при изгибах.

РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ ПРОВОДАМИ АССС И ACCR

В чем же заключается практическая разница между проводами, сделанными с помощью двух разных технологий?

В случае применения технологии металлической матрицы мы получаем многопроволочный (7, 19 и более проволок), скрученный сердечник провода, благодаря чему нагрузка в процессе эксплуатации равномерно распределяется по всем проволокам. В случае применения технологии полимерного сердечника вся нагрузка воспринимается одним толстым стержнем. Для продольно-ориентированных волокнистых структур характерными свойствами являются высокая продольная прочность при существенно меньшей изгибной прочности. Ни для кого не секрет, что толстая одиночная проволока подвергается значительно большему стрессу при изгибе, нежели несколько тонких и скрученных. Кроме того, полагаясь только на один несущий элемент, необходимо иметь очень существенный запас по прочности и долговечности. Под запасом подразумевается то, насколько близки максимальные рабочие характеристики к предельным для материала.

Поскольку речь идет о высокотемпературных проводах, то максимально допустимые температуры и есть основная характеристика для рассмотрения (табл. 1). Так как волокна при использовании обеих технологий заведомо стойки к высоким температурам, то ограничением является материал матрицы, т.е. алюминий и эпоксид. Для алюминия предел – температура плавления (примерно 660 °С), для эпоксида – это так называемая температура стеклования Tg. Для обоих материалов это точка невозврата, после которой прежние свойства не восстанавливаются.

Имеет смысл сравнить зависимость прочности сердечника от температуры. Изменения прочности металлического сердечника не превышают 8% до 500 °С. У полимерного сердечника примерно при 150–175 °С (зависит от температуры стеклования) начинается падение до уровня 60% от начальной прочности.

Падение прочности полимерного сердечника не так страшно: тяжения, которые на практике испытывает сердечник, всё равно оказываются ниже. Но опасность состоит

ВНЕШНИЙ ВИД ПРОВОДА ACCR ДО ИНСТАЛЛЯЦИИ

Рис. 2

в том, что в процессе эксплуатации мы не контролируем температуру провода, которая зависит от тока и целого ряда факторов окружающей среды. При запасе всего в 15 °С нет гарантии, что провод не перегреется. Именно поэтому утверждается, что «необходимо точно следовать и соблюдать эксплуатационный предел при применении технологий многослойных материалов на практике. Полимерные композиты не должны использоваться при температурах, превышающих их температуры стеклования, а при выполнении определенных строительных работ рекомендуется выбирать материалы, которые имеют температуру Tg по меньшей мере на 30 °С превышающую максимально ожидаемую температуру при эксплуатации изделий из данных материалов» [1].

Рекомендации CIGRE [2] по квалификации проводов новых типов устанавливают еще более высокую планку запаса – 35 °С. Таким образом, «безопасной температурой» для полимерного сердечника является температура не выше 175 °С. В сердечнике же, сделанном по технологии металлической матрицы, эксплуатационный запас более чем достаточен.

Еще одним элементом оценки является стойкость к факторам окружающей среды. И здесь полимерный сердечник требует очень внимательного отношения. Та же самая Tg оказывается сильно подверженной совместному влиянию высокой влажности и температуры. Так, при длительном погружении в воду при температуре 40 °С падения и восстановления Tg при прекращении испытаний величина Tg составила 77, или 91% от первоначальной величины. То есть, испытав одновременное воздействие влаги и температуры всего в 40 °С, Tg уменьшилась на 9%. При начальной величине 215 °С это означает падение ниже 200, т.е. ниже максимальной заявленной рабочей температуры [3]. Подобное же воздействие на алюминиевый композит не изменит его температуры плавления как эксплуатационного предела.

Следует отметить, что в научных кругах сегодня нет однозначного, принимаемого большинством подхода к определению набора факторов, влияющих на старение такого рода полимерных конструкций в проводах, т.е. нет согласия в том, набор каких именно испытаний/факторов должен подтверждать долговечность продукта.

Нельзя, однако, рассматривать один элемент конструкции (в данном случае сердечник провода) как нечто обособленное. Нас интере-

РАЗЛИЧНЫЕ МОДИФИКАЦИИ ПРОВОДОВ ACCR

Рис. 3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОВОДОВ ACCR В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ (А, Б)

Рис. 4

суют в первую очередь свойства и «способности» готового изделия. Но сравнение свойств разных проводов уже не раз делалось в прессе, поэтому в данной статье оно не будет проведено.

РЕЗУЛЬТАТЫ МИРОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРОВОДА ACCR

Инновации в энергетике – особая тема. Она должна иметь большой срок службы, быть обеспечена поддержкой производителя в течение срока службы, ясный и понятный алгоритм, или «рецепт» применения. Поэтому сама по себе технология не является гарантией достижения успеха.

Провод ACCR (рис. 2, 3) находится в коммерческой эксплуатации уже более 12 лет. За прошедшее время в различных странах мира с совершенно разными климатическими условиями (рис. 4 а,б) выполнены более 80 проектов по его установке, и все на 100% успешно. Их безаварийной эксплуатации предшествовали продолжительные этапы тестирования проводов в лабораторных и полевых условиях, которые во многом и обеспечивают нынешний успех. На испытания и исследования свойств этого провода, а также «поведения» его в различных климатических условиях были затрачены огромные средства и усилия. Полевые тесты только на одном из полигонов в США продолжались более 4 лет. За это время отмечены многочисленные случаи гололедообразования и снегопады, шторма с порывами ветра до 100 км/ч. Ежедневная регистрация климатических условий и технических параметров провода, таких как натяжение и температура, позволили убедиться в точности аналитической модели конструкции проводов и не выявили

никаких отклонений от заявленных характеристик.

Французская электросетевая компания RTE испытывала провод ACCR для использования на своих линиях электропередачи посредством 46 различных тестов, многие из которых уникальны. Американская компания AEP провела последовательно пять механических тестов на проводах разных типов и разных производителей. Провод ACCR прошел тесты с первого раза, показав остаточную прочность выше 100% от номинальной.

Именно масштабность проведенных испытаний позволила обеспечить ключевые факторы успеха инновации: подтверждение долговечности, расчетную модель, общедоступный программный комплекс для моделирования и глубокую техническую экспертизу не только производства, но и применения.

РОССИЙСКИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ACCR

Провод ACCR заслужил признание в России: в стране реализовано около 10 проектов и ряд проектов находится на различных стадиях исполнения. Первая реконструкция линий электропередачи в условиях плотной городской застройки с применением провода ACCR была выполнена в Москве в 2008 г. – ВЛ мощностью 110 кВ Очаково – Одинцово, аналогичные проекты реализованы в Перми, Вологде, Иркутске, Новокузнецке.

Провод ACCR превосходно показал себя не только в условиях городов, но и в экстремальных условиях, таких как режимы чрезвычайно низких или высоких температур, повышенная влажность, воздействие сильного ветра и вибрации.

В течение 5 лет провод ACCR обеспечивает бесперебойную транспортировку электроэнергии и увеличивает пропускную способность ЛЭП, по которой производится выдача мощности Харанорской ГРЭС – крупнейшей в Забайкальском крае. Эта линия будет задействована для реализации следующего этапа электрификации Южного хода Забайкальской железной дороги, позволит вводить в действие новые железнодорожные объекты, развивать железнодорожную инфраструктуру.

Высоковольтный композитный провод инсталлирован на воздушной линии г. Иркутска (рис. 5). Развитие городской инфраструктуры, высокие темпы строительства в центре Иркутска обусловили рост электрических нагрузок в Правобережном и Октябрьском округах и привели к необходимости увеличения пропускной способности ВЛ мощностью 110 кВ Иркутская гидроэлектростанция – Южная – Кировская, так как энергопотребление района значительно превысило возможности существующих ЛЭП. Решение этой задачи стандартными методами потребовало бы строительства по старой трассе новых опор с габаритами 220 или 330 кВ, что в условиях прохождения ЛЭП по плотно застроенному городу трудно реализуемо и дорого. Усиление существующей линии путем замены провода на провод большего сечения было также невыполнимо, поскольку провод большего сечения обладает и большей массой, на которую существующие опоры не рассчитаны. В результате анализа альтернатив было принято решение заменить существующие сталеалюминевые провода АС-400, АС-300 и АС-185 на аналогичные по весу композитные провода ACCR. Это позволило практически в 2 раза, до 1600 А, увеличить пропускную способность головного участка ЛЭП от Иркутской гидроэлектростанции до подстанции «Цимлянская», и до 1240 А – участка от подстанции «Цимлянская» до подстанции «Кировская» в послеаварийном зимнем режиме в перспективе до 2020 г.

реклама
ISSE
INTEGRATED SAFETY & SECURITY EXHIBITION
КРУПНЕЙШАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ВЫСТАВКА ПО БЕЗОПАСНОСТИ
международный салон
КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2015
Москва, ВДНХ, павильон № 75
19 - 22 мая
Тематические разделы
Пожарная безопасность
Техника охраны
Безопасность границы
Медицина катастроф
Защита и оборона
Средства спасения
Экологическая безопасность
Промышленная безопасность
Информационные технологии
Комплексная безопасность на транспорте
Ядерная и радиационная безопасность
Материально-техническое обеспечение силовых структур
WWW.ISSE-RUSSIA.RU

Рис. 5. ACCR на ВЛ Иркутска

Также провод ACCR связал новую парогазовую установку 110 кВ Вологодской ТЭЦ с энергосистемой Вологды. В начале 2012 г. на территории Вологодской ТЭЦ введен в действие распределительный пункт, который связал парогазовую установку (ПГУ) мощностью 110 кВ Вологодской ТЭЦ с электрическими сетями «Вологдаэнерго». После ввода установки в эксплуатацию увеличились электрическая и тепловая мощности ТЭЦ, что потребовало повышения пропускной способности существующих ЛЭП. Эта задача была решена с помощью композитного провода ACCR, без увеличения габаритов и количества опор. Около 19 км провода были инсталлированы на участке ВЛ протяженностью около 3 км. Пропускная способность сетей увеличилась почти в 2 раза, что позволило обеспечить полную выдачу всей производимой мощности с подстанций «Восточная» и «Западная» в энергосистему Вологодской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Алюминиевый провод ACCR, благодаря особой конструкции и использованию композитных материалов, обладает высоким запасом прочности, надежной, проверенной годами многопроволочной конструкцией и уникальными характеристиками конечного продукта, которые позволяют не только в 2 раза увеличивать пропускную способность ЛЭП, но и максимально использовать существующую инфраструктуру, соблюдая при этом все действующие ограничения по нагрузкам и габаритам. Это подтверждается как российским, так и мировым опытом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Karbhari V.M., Chin J.W., Hunston D., Benmokrane B., Juska T., Morgan R., Lesko J.J., Sorathia U., Reynaud D. Durability Gap Analysis for Fiber-Reinforced Polymer Composites in Civil Infrastructure//Journal of Composites for Construction. 2003. № 7(3). P. 238–247.
2. Working Group B2.26, CIGRE 429 Guide for Qualifying High Temperature Conductors for Use on Overhead Transmission Lines, 2010.
3. Kara N.K., Tsaia Y.-I., Barjasteha E., Boszea E.J., Nutta S.R. Accelerated aging and durability of composite rods for power transmission lines. University of Southern California, Composites Center, Vivian Hall of Engineering, Los Angeles, CA 90089, Composite Technology Corporation, 2026 McGaw Ave, Irvine, CA 92614.