



проекту между участниками проекта, фиксировать обсуждение задач в комментариях и вести учет рабочего времени.

Литература

1 Управление проектами в компании: определение и решение ключевых проблем [Электронный ресурс] / Блог компании Адванта Москва. – URL: //advanta-group.ru/blog/upravlenie-it-proektami (дата обращения 22.04.2021).

2 Управление проектами по разработке программного обеспечения. Проблемы и пути решения [Электронный ресурс] / Ресурсное планирование и ресурсные планы. – URL: //resplan.ru/2001/02/27/upravlenie-proektami-po-razrabotke-programmnogo-obespecheniya-problemy-i-puti-resheniya (дата обращения 22.04.2021).

3 Топ-7 методов управления проектами: Agile, Scrum, Kanban, PRINCE2 и другие [Электронный ресурс] / Компания Проектные Сервисы. – URL: //pmservices.ru/project-management-news/top-7-metodov-upravleniya-proektami-agile-scrum-kanban-prince2-i-drugie (дата обращения 22.04.2021).

4 Технология клиент-сервер [Электронный ресурс] / URL: //it-black.ru/tekhnologiya-kliyent-server (дата обращения 22.04.2021).

Н.Ю. Никеров, Р.Т. Аблаев

КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ТРЕБУЕМОЙ НАДЕЖНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАЗРАБОТОК ПРОВОДОВ

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

Актуальность темы. В настоящее время наблюдается увеличение спроса на электроэнергию. Это требует повышения пропускной способности существующих линий электропередач, а также строительства новых. Строительство новых линий и модернизация существующих подразумевает много составляющих, но основное – это внедрение новых современных типов проводов для воздушных линий электропередачи.

Практическая ценность работы:

1. Предложено альтернативное решение существующему проводу марки АС.

2. Показаны преимущества перспективных разработок проводов нового поколения перед проводами марки АС и перспективы их применения в электрических сетях.

1 Обзор современных конструкций проводов воздушных линий повышенной пропускной способности

1.1 Компактный провод типа AERO-Z, Nexans, Бельгия



Основная особенность провода *AERO-Z* заключается в форме проволок токопроводящих слоёв – их сечение напоминает букву “Z”. Верхний повив провода практически идеально гладкий, имеет незначительные винтовые канавки, возникающие между верхними кромками Z-образных проволок.

За счёт этого конструкция провода *AERO-Z* получается более компактной по сравнению с проводом АС и при том же диаметре имеет большее сечение алюминия. Такие особенности влекут за собой меньшие механические напряжения в опорах в случаях применения проводов равного диаметра или позволяют увеличить полезное электропроводящее сечение при равных механических напряжениях в опорах.

Недостатки: стоимость за километр провода *AERO-Z* примерно в 6 раз выше по сравнению с проводом АС и не допускается его длительное повышение температуры свыше 60 °С.

1.2 Провода TACSR/ACS и (Z)TACSR/HICIN компании “Lumpi-Berndorf”, Австрия

Увеличение пропускной способности проводов *TACSR/ACS* и *(Z)TACSR/HICIN* обеспечивается их большей рабочей температурой, т.е. эти провода могут в нормальных условиях продолжительное время нести более высокую токовую нагрузку, чем провода АС.

Провод напоминает классический провод АС: стальной сердечник и токопроводящие повивы. Отличия заключаются в использованных материалах. Токопроводящие повивы изготовлены из специального термостойкого алюминия *TAL* (сверхтермостойкого сплава – *ZTAL*).

Оба сплава *TAL* и *ZTAL* состоят из чистого алюминия, к которому добавляется цирконий, с той разницей, что в сплаве *ZTAL* содержится большее его количество. Добавка циркония повышает температуру рекристаллизации основного компонента – алюминия, и уменьшает размер зёрен при рекристаллизации. В результате токопроводящие проволоки сохраняют все механические и электрические характеристики при достаточно больших нагревах. Использование термоустойчивого алюминия в качестве токонесущей части провода даёт возможность значительно увеличить пропускную способность. Линии, работающие в штатном режиме при температуре проводов 150 °С (у *TACSR/ACS*) и 210 °С (у *(Z)TACSR/HICIN*), не подвержены отложению гололёда, что означает как резкое снижение вероятности возникновения пляски проводов, так и уменьшение гололёдных и ветровых нагрузок на опоры.

Недостатки: высокая стоимость – в 2,5-3 (270 %) раза выше по сравнению с проводом АС у проводов *TACSR/ACS* и до 4-5 (450 %) раз выше - у проводов *(Z)TACSR/HICIN*.

1.3 Провод GTACSR (GZTACSR) компании “J-Power”, Япония

Увеличение пропускной способности провода *GTACSR* обеспечивается также, как и проводов *TACSR/ACS* и *(Z)TACSR/HICIN*, большей рабочей температурой. Главная особенность провода *GTACSR* заключается в том, что между токопроводящими слоями провода, (сверх – у *GZTACSR*) термостойкого алюминиевого сплава, и стальным сердечником имеется зазор, отсюда и название –



“провод с зазором”.

Сердечник из сверхпрочной стали в центре и (сверх)термостойкая алюминиевая внешняя часть. Жилы внутреннего слоя имеют трапециевидное сечение для обеспечения зазора между стальным сердечником и внешней алюминиевой частью. Зазор заполняется термостойкой смазкой, которая не пропускает воду и исключает трение между стальным сердечником и внутренним алюминиевым слоем. (Сверх)термостойкий алюминиевый сплав (*Z*)*TAL*: обладает улучшенными характеристиками за счёт добавления циркония. *TAL* и *ZTAL* сохраняют заданный предел прочности при высокой температуре.

1.4 Композитный провод марки АССС (Compozit Technology Corp.’s), США

Конструкция провода: особенность провода – вместо сердечника из стали применяется стеклопластиковый сердечник, что позволяет удвоить величину номинального тока линии без риска провисания и разрушения провода. Слой стеклопластика отделяет углеволокно от проводящего алюминиевого покрытия для предотвращения гальванической коррозии и уравнивает более хрупкое углеволокно и улучшает гибкость и прочность сердечника. Верхние повивы – проволоки трапециевидного сечения из отожженного алюминия.

Отличительные свойства композитных материалов – высокая прочность и малый температурный коэффициент линейного расширения. За счёт этого стрела провеса провода АССС уменьшается по сравнению со стрелой провеса провода АС в 10 раз. Это позволяет в дальнейшем увеличить межпролётные расстояния ВЛ и уменьшить количество опор на трассе. Провод с сердечником из композита обладает более низким коэффициентом линейного удлинения, и поэтому он менее подвержен тепловому расширению, чем проводник со стальным сердечником. (Коэффициент удельного теплового расширения композитного сердечника в 10 раз ниже, чем у стали).

1.5 Высокотемпературные провода марок АСПТк и АСПТз

Токоведущая часть выполнена из алюмо-циркониевого сплава, что увеличивает рабочую температуру провода с 90 до 150-180 °С, с пиковыми нагрузками до 210 °С. Сердечник провода выполнен из высокоуглеродистой стали, плакированной алюминием, что полностью исключает коррозионные процессы в нём и позволяет увеличить срок службы провода.

Конструкция провода АСПТк: токоведущая часть выполнена из трапециевидных проволок, обеспечивающих идеально гладкую поверхность. За счёт особой конструкции провода удаётся снизить ветровые и ветрогололёдные нагрузки на 20% и при этом обеспечить увеличение пропускной способности линии в 2 раза по сравнению с традиционными проводами АС.

Высокотемпературный провод АСПТз отличается особенной конструкцией. Провод сделан таким образом, что между токоведущим повивом и сердечником остаётся воздушный зазор, заполненный термостойкой смазкой. Уникальность этого провода в том, что применение его на ЛЭП способствует уменьшению стрелы провеса, а также увеличению габарита линии в 2 раза по сравнению с традиционными проводами АС. Рабочая температура такого про-



вода 180-210°C, в пиковые нагрузки — 230°C. Токоведущий повив провода АСПТз также выполнен из трапециевидных проволок, что снижает ветровые и ветрогололёдные нагрузки на 20% по сравнению с традиционной формой проводов.

1.6 Наноструктурные алюминиевые сплавы (НС-Аl сплавы) ИФПМ УГАТУ

Институт физики перспективных материалов УГАТУ предлагает провода, выполненные из *НС-Аl* сплавов. В качестве примера возьмём провод *Аl-2Fe*.

Провод *Аl-2Fe* является многожильным, в котором отсутствует стальной сердечник, поэтому все жилы являются токоведущими, и за счёт повышенной прочности вследствие обработки методом ИПД-технологии превосходит по прочности заменяемый провод АС.

Внешне провод выглядит аналогично обыкновенному алюминиевому проводу, но его механические и физические свойства значительно превосходят алюминиевые и алюминиево-стальные аналоги. Провод, выполненный из сплава *Аl-2Fe*, разработан для высоковольтных ЛЭП, способный передавать значительно большую мощность по сравнению с проводом АС такого же сечения. Тем самым решается задача увеличения пропускной способности и повышение надёжности электропередачи без замены опор.

Сплав *Аl-2Fe* обладает двумя особенностями, благодаря которым он востребован в электротехнике. Во-первых, железо в количестве до 30 % присутствует в боксидной руде в виде оксида железа Fe_3O_3 . Это означает, что для получения сплава, в котором основным легирующим элементом является железо, не требуется дополнительной операции легирования. Во-вторых, растворимость железа в алюминии в равновесном состоянии при комнатной температуре составляет 0,025 вес.%, т.е. сплавы этой системы практически не образуют твёрдых растворов, что выгодно сказывается на электропроводности. Кроме того, железо в составе алюминиевых сплавов очищает алюминий от примесей кремния, связывая его в частицы *AlFeSi*, что также косвенно увеличивает электропроводность сплава.

Основные характеристики (электропроводность, прочность) сплава определяются структурными составляющими, в частности его морфологией и химическим составом.

На микроструктуру алюминия сильно влияет температура (в чистом алюминии микроструктурные изменения происходят уже при комнатной температуре), что приводит к необходимости повышения термоустойчивости алюминиевых сплавов, работающих в условиях повышенных температур. Это особенно актуально для материалов, используемых в воздушных линиях электропередач, рабочая температура которых в жаркое время года или в результате пиковых нагрузок может достигать 200-250 °С.

Факты, приведённые выше, показали, что надёжное и эффективное использование алюминия в качестве материала проводников возможно при наличии устойчивой микроструктуры, что достигается благодаря методу интенсивной пластической деформации кручением (ИПДК) под высоким давлением.



При реализации данного метода большая степень деформации обеспечивается количеством оборотов подвижного бойка и давлением бойков (Р), которое может достигать 10 ГПа, хотя в большинстве случаев для формирования структуры сплава достаточно давления 4-6 ГПа. Высокие значения давления необходимы для устранения проскальзывания относительно образца и предотвращения его разрушения в процессе обработки.

Число увеличения количества оборотов ИПДК до 20 приводит к повышению предела прочности сплава до 649 МПа (у провода АС-120/19 это значение равно 135 МПа), при одновременной потере электропроводности (вплоть до 40,4 % *IACS*. *IACS* – Международный стандарт отожённой меди, у провода АС-120/19 это значение равно 50-52 %).

Т а б л и ц а 1.1 – Показатели механической прочности и электропроводности сплава *Al-2Fe* в исходном состоянии и после ИПДК

Сплав	Число оборотов ИПДК	Прочность σ , МПа	Электропроводность ω , МСм/м	Электропроводность <i>IACS</i> , %
<i>Al-2Fe</i>	–	95	32,4	56,8
	1	232	31,7	54,7
	10	590	24,5	42,2
	20	649	23,4	40,4

В ходе дальнейших работ по увеличению электропроводности сплава на кафедре металлургии и материаловедения университета было обнаружено, что отжиг при 200 °С в течение 8 часов приводит к увеличению проводимости с 40,4 до 49,3 % *IACS*.

После анализа полученных результатов часть не отожженных образцов сплава была подвергнута дополнительной деформационной обработке после ИПДК с количеством $N=5$. Полученные результаты показали, что деформация при 200 °С приводит к разупрочнению материала, сопоставимому по уровню с состоянием после отжига при 200 °С в течение 8 часов. Однако уровень электропроводности после ИПДК при 200°С в УМЗ сплаве заметно выше.

Отжиг при 200 °С (8 часов) приводит к снижению предела прочности с 649 МПа до 335 МПа и к увеличению проводимости до 52.3 *IACS* %.

Таким образом, изменяя показатели прочности и электропроводности сплава за счёт отжига и ИПДК можно добиться материала с переменными характеристиками.



Т а б л и ц а 1.2 – Показатели механической прочности и электропроводности сплава Al-2Fe после дополнительного отжига и ИПДК.

Состояние	Прочность σ , МПа	Электропроводность ω , МСм/м	Электропроводность <i>IACS</i> , %
ИПДК + отжиг 200 °С, 8 часов	335	28,6	49,3
ИПДК + ИПДК + отжиг 200 °С, N=5	327	30,3	52,3

Например, в городских условиях, когда воздействие ветровых нагрузок существенно меньше, чем в горной или равнинной местности, уменьшение прочности сплава (при этом показатель прочности будет примерно в 2-2,5 раза выше чем у провода АС) позволит существенно увеличить его электропроводность (порядка 20-25%) и, следовательно, пропускную способность проводов. И наоборот, в условиях, когда не требуется столь высокий показатель электропроводности (отдалённый сельско-хозяйственный потребитель (или их небольшая группа), потребитель в горной (равнинной) местности) при соблюдении качества электроэнергии, при сильных ветровых и гололёдных нагрузках, увеличение прочности проводов (в 4-5 раз по сравнению с проводом АС) позволяет увеличить надёжность электроснабжения.

1.7 Критерии оптимизации электроэнергетической системы при обеспечении требуемой надёжности и влияние механических свойств провода на надёжность электроэнергетической системы (системы электроснабжения)

Проектирование, сооружение объектов электрической сети и их эксплуатация связаны с большими материальными затратами. Поэтому важно, чтобы эти затраты были использованы с наибольшей эффективностью. При этом следует учитывать, что правильность решений по развитию систем передачи и распределения электроэнергии, принимаемых в какой-то момент, может проявляться через достаточно длительное время, когда допущенные ошибки исправить невозможно или очень трудно. При упрощенном подходе к решению такой задачи задаются тремя уровнями нагрузки (возможным наибольшим, возможным наименьшим и средним) и производят выбор параметров для всех этих уровней.

Для оптимизации параметров предварительно должен быть выбран критерий оптимизации. При наиболее общем подходе обычно в качестве показателя эффективности решений выступает не один, а несколько критериев, т.е. приходится решать многокритериальную (многоцелевую) задачу. Например, в качестве критериев могут выступать капитальные затраты, потери электроэнергии, пропускная способность сети, степень надёжности электроснабжения, степень воздействия на окружающую среду.

Под надёжностью электрической сети (или ее участка) понимают способность осуществлять передачу и распределение требуемого количества электроэнергии от источников к потребителям при нормативных уровнях напряжения и



в соответствии с заданным графиком нагрузки. Надежность участка сети определяется надежностью и параметрами входящих в ее состав элементов (трансформаторов, коммутационной аппаратуры, линий электропередачи и др.) и схемой их соединения.

В случае отказа отдельных элементов сети может произойти (в зависимости от схемы соединений) отказ участка сети, приводящий к нарушению электроснабжения потребителей: полному прекращению питания, частичному ограничению нагрузки, отклонению напряжения от допустимых нормами пределов.

Линии электропередачи являются наиболее часто повреждаемыми элементами электроэнергетических систем из-за территориальной рассредоточенности и подверженности влиянию внешних неблагоприятных условий среды.

К основным причинам повреждения воздушных линий относятся следующие: повреждение опор и проводов из-за гололедно-ветровых нагрузок; грозное перекрытие изоляции; пережог проводов; повреждение опор и проводов автотранспортом и другими механизмами; дефекты изготовления опор и проводов, изоляторов; падение деревьев; перекрытие изоляции птицами; неправильный монтаж опор и проводов; несоблюдение сроков ремонта и замены оборудования.

Эти причины приводят в основном к ослаблению или нарушению механической прочности проводов, опор, изоляторов; поломке деталей опор; коррозии и гниению металлических и деревянных частей.

Имеющиеся в технической литературе результаты обработки статистических данных по надежности распределительных электрических сетей показывают, что около 25-30 % аварийных ситуаций приходится на воздействие ветра и гололеда и последующее падение опор и обрыв проводов.

Таким образом, улучшая показатели механической прочности проводов можно добиться существенного улучшения надёжности электроснабжения.

Литература

1. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие. – Ростов-Н/Д.: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006. – 720 с;
2. Идельчик В.И. Электроэнергетические системы и сети: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с;
3. Лыкин А.В. Электрические системы и сети: Учебное пособие. – М.: Университетская книга; Логос, 2006. – 254 с;
4. Исмагилов Ф.Р. Основные вопросы проектирования воздушных линий электропередач / Ф.Р. Исмагилов, Р.Г. Шакиров, Н.К. Потапчук, Т.Ю. Волкова. – М: Машиностроение. –2015. 211с.
5. Проектирование воздушных линий электропередач / Ф.Р. Исмагилов, Р.Г. Шакиров, Н.К. Потапчук, Т.Ю. Волкова. – УГАТУ, 2013. – 154 с.
6. Прочность, электропроводность и термическая стабильность наноструктурных сплавов систем Al-P3M и Al-2Fe. Диссертация на соискание науч-



ной степени кандидата физико-математических наук / А.Е. Медведев – Уфа, изд-во УГАТУ, 2018. - 174 с.

7. Валиев Р.З. // Создание наноструктурных металлов и сплавов с уникальными свойствами, используя интенсивные пластические деформации. Российские Нанотехнологии. 2006, Т.1, С. 208-216.

8. Проектирование механической части воздушных ЛЭП. Учебное пособие / А.П. Вихарев, А.В. Вычегжанин, Н.Г. Репников. – изд-во ВятГУ, 2009. – 140 с

9. Анализ возможности использования перспективных наноструктурных Al сплавов для повышения пропускной способности линий электропередач / Р.Г. Шакиров, Р.З. Валиев, Д.В. Гундеров, М.Ю. Мурашкин, Г.И. Рааб. – изд-во УГАТУ, 2014. – 136 с.

10. Повышение пропускной способности воздушных линий электропередачи и применение проводов новых марок Алексеев Б.А. Редакция журнала ЭЛЕКТРО.

11. Инновационные кабели и провода для линий электропередачи. Новинки ООО «Камский кабель». – Пермь, 2013. – 12 с.

12. Линии с проводом AERO-Z и AAACZ [Электронный ресурс] – URL: <https://domikelectrica.ru/linii-s-provodom-aero-z-7-preimushhestv/> (дата обращения 01.12.2020).

13. Провода GTACSR и GZTACSR. J-Power System Corp. [Электронный ресурс] – URL: www.jpowersystem.com

14. Высокотемпературные провода [Электронный ресурс] – URL: <https://изоляторыполимерные.рф/catalog/spiralnaya-lineynaya-armatura/vysokotemperaturnye-provod/> (дата обращения 01.12.2020).

Е.О. Нистратова, М.А. Кудрина

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИКАЦИЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА ДЛЯ ВЕКТОРИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

(Самарский университет)

Векторизация – это преобразование растрового изображения в его векторное представление с помощью специальных алгоритмов векторизации. Преимущества векторной графики перед растровой заключаются в её масштабируемости, редактировании без потери качества, помимо этого, графические файлы данного формата имеют малые размеры.

Стоит отметить, целесообразность преобразования растра в вектор имеет место быть, когда изображение выполнено простыми линиями и плоскими цветами. Одним из алгоритмов для обнаружения простых форм, например, линий, является преобразование Хафа [1]. Существует множество модификаций преобразования Хафа, которые стремятся увеличить скорость работы метода [2].

Разработка автоматизированной системы векторизации изображений