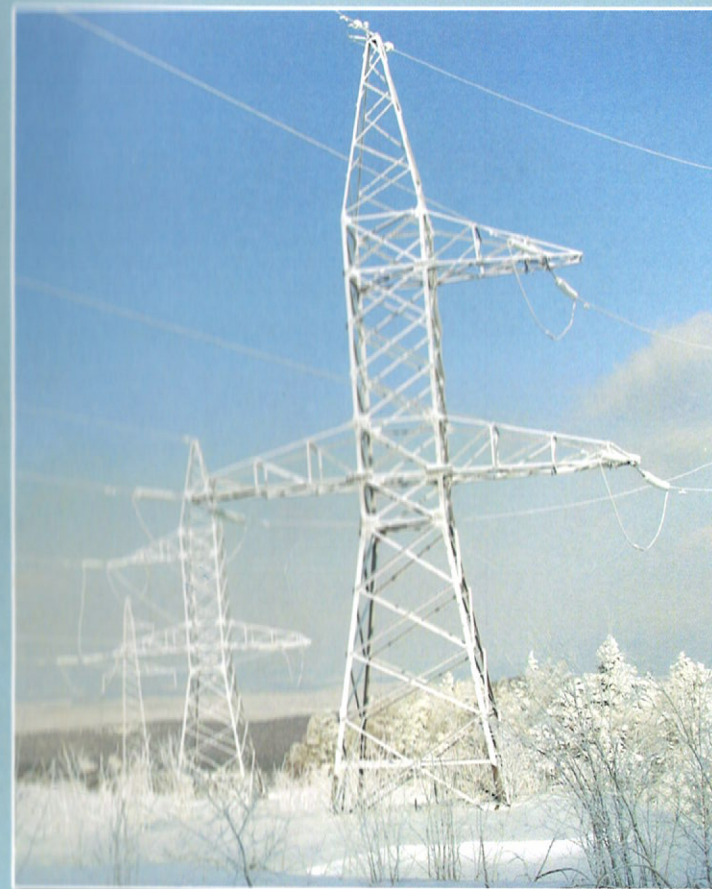




**ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ
РАБОТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
В УСЛОВИЯХ ГОЛОЛЕДНО-ВЕТРОВЫХ
НАГРУЗОК**

УФА 2016

ПРОВОДА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ И ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ ЛЭП

Аннотация. Вопросы повышения надежности электросетей не теряют своей актуальности не смотря на высокие темпы модернизации электросетевого комплекса. Влияние гололеда и сильного ветра приводит к перебоям в электроснабжении во многих регионах страны. Провода нового поколения для ЛЭП, обладающие компактной структурой, гладкой поверхностью и повышенной крутильной жесткостью, являются эффективным решением в борьбе энергетиков с природными катаклизмами.

Ключевые слова: линия электропередачи, провода нового поколения, энергоэффективность, стойкость к воздействию ветра, стойкость к гололеду.

Бесперебойность работы высоковольтных линий электропередачи зависит от надежности всех элементов линии: опор, проводов, линейной арматуры, изоляторов и грозозащитных тросов. Хотя по статистике от надежности проводов – в большей степени [1]. Старение сетей страны и недостаточные темпы модернизации в начале 2000-х негативно сказывались на качестве электроснабжения потребителей, приводили к сбоям в работе электросетевого комплекса. Однако и природа тоже вносит свою лепту в статистику аварийности ЛЭП, каждый год удивляя нас то ураганами, то ледяными дождями. Подобные природные катаклизмы приводят к выходу линий из строя и к периодическим обесточиваниям потребителей Краснодарского края, Крыма, Дальневосточного региона, Волгоградской, Ленинградской, Мурманской, Вологодской и других областей РФ. Защита ЛЭП от гололедно-ветровых нагрузок стала насущной необходимостью для энергетиков многих стран. При этом станции плавки гололеда не всегда и не везде решают проблему гололедообразования на проводах ЛЭП [2]. Альтернативным способом эффективной защиты от гололеда становится применение проводов нового поколения (ПНП) – проводов новых конструкций с использованием новых

материалов повышенной прочности и проводимости и обладающих стойкостью к повышенным нагрузкам [3–5].

Как правило, ПНП – это провода компактированные с высокой (до 98,5%) плотностью заполнения (рис. 1). Компактированные провода, обеспечивая заданную проектом пропускную способность и имея при заданном эффективном сечении меньший диаметр, обладают меньшим аэродинамическим сопротивлением по сравнению с устаревшими проводами АС, в меньшей степени воспринимают энергию ветра и значительно меньше подвержены вибрации. На них не наблюдается явление пляски, так как при большей площади соприкосновения отдельных проволок наружных повивов такие конструкции обладают свойством самогашения колебаний. Таким образом, компактированные провода стойки к воздействию ветра. С другой стороны, имея меньший диаметр, гладкую поверхность и обладая крутильной жесткостью, такие провода в значительно меньшей степени подвержены снегоналипанию и гололедообразованию. Следует также отметить связь гололедообразования с усилением воздействия ветра на элементы ЛЭП, так как появление ледяных «рукавов» на проводах увеличивает их аэродинамическое сопротивление и приводит к пляске проводов, «проверяя на прочность» и сами провода, и гирлянды, и траверсы, и конструкции опор в целом. Теоретические заключения о снижении гололедообразования при эксплуатации проводов компактных конструкций были проверены и подтверждены в лабораторных условиях [6].

Однако, решая вопросы повышения надежности ЛЭП, нужно помнить о приоритетной задаче повышения энергоэффективности электропередачи, т.е., во-первых, о снижении потерь (тепловых потерь и потерь на «корону»), а, во-вторых, о требованиях по запасу пропускной способности строящейся линии и снижению сроков техприсоединения новых потребителей в перспективе [4]. Из рис. 2 видно, что задача создания самого надежного и энергоэффективного провода нетривиальная.

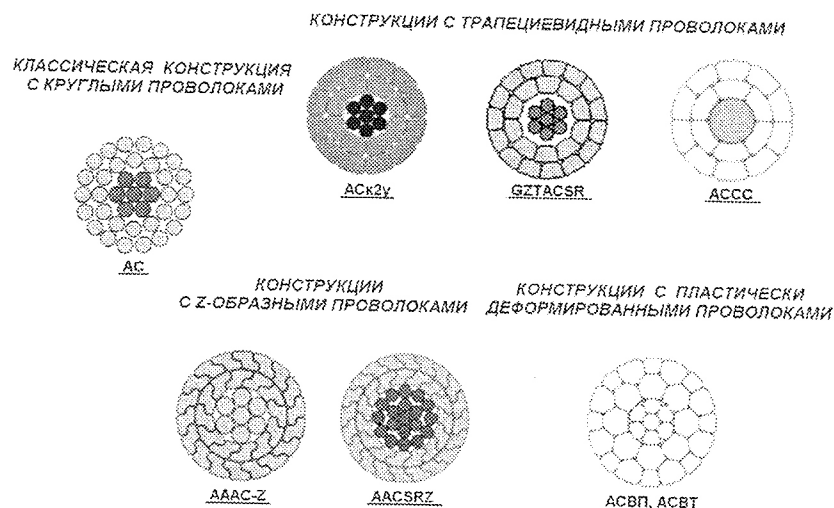


Рис. 1. Сравнение конструкций серийных проводов

Попутно заметим, что термостойкие провода, применяемые в отечественных электросетях, в основном, для повышения пропускной способности, компактной (GZTACSR, ACCC, ACBT) или классической (ACCR, ACT) за счет более высокой температуры эксплуатации, конечно, обладают повышенной гололедофобностью. Причем первая группа все же в большей степени.

Из всего многообразия новых типов проводов самое широкое распространение в мире получили провода типа Z. В этой конструкции в качестве 1-2 наружных слоев взамен круглых использованы проволоки Z-образного профиля. В проводах марки AAAC-Z из алюминиевого сплава, в которых вместо стальной проволоки в сердечнике используется тот же алюминиевый сплав, что и в токопроводящем слое, уменьшение диаметра не приводит к уменьшению эффективного сечения провода и увеличению активных потерь; электрическое сопротивление таких проводов меньше в среднем на 6÷8%, чем у AC сравнимого эффективного сечения. При этом

достигается значительное снижение удельной массы провода на 5÷20% без потери прочности, а, значит, возможно снижение материалоемкости и стоимости строительства за счет применения более легких опор и фундаментов.

↑ Б О Л Ь Ш Е	хуже	сильнее воздействие ветра, больше масса льда	выше статическая нагрузка на опоры и арматуру	сильнее воздействие ветра, больше масса льда		
	лучше	ниже потери на корону и радиопомехи	стойкость к пляске и вибрации	ниже потери	меньше стрела провеса и амплитуда при сбросе гололеда	меньше стрела провеса при нагреве, выше пропускная способность
↓ М Е Н Ь Ш Е	параметр провода	диаметр	масса	эффективное сечение	модуль упругости	термостойкость
	лучше	стойкость к ветру и гололеду	ниже статическая нагрузка на опоры и арматуру		меньше динамическая нагрузка на опоры и арматуру	
	хуже	выше потери на корону и радиопомехи		выше плотность тока и потери	больше провис провода	больше провис провода при нагреве

Рис. 2. Выбор оптимальной конструкции надежного провода для ЛЭП

Использование в конструкции фаз компактированных проводов меньшего диаметра, обладающих высоким коэффициентом заполнения и повышенной крутильной жесткостью, значительно повышает надежность ЛЭП за счет:

- снижения коэффициента аэродинамического сопротивления («парусности» провода) и, соответственно, снижения воздействия ветра на провод, арматуру и опоры ЛЭП;
- снижение амплитуды и интенсивности вибрации проводов, снижения механических напряжений в проводе и арматуре;
- снижение механических нагрузок от вибрации проводов, прикладываемых к опорам, и, как следствие, увеличение жизненного цикла ЛЭП;

- снижение уровня усталости металла в проводе за счет самодемпфирования;

- стойкости к гололеду без применения плавки гололеда;

- снижения рисков выхода ЛЭП из строя при возникновении повышенных нагрузок в виде шквалистых ветров и гололедно-изморозевых отложений.

Таким образом, с одной стороны, при сравнении проводов равного эффективного сечения сами провода типа *Z* (а, следовательно, и все другие элементы ЛЭП) испытывают меньшие механические напряжения, что снижает риски выхода линии из строя при возникновении повышенных гололедно-ветровых нагрузок; с другой стороны, компактная конструкция позволяет увеличить эффективное сечение провода, а значит, снизить потери и повысить пропускную способность линии, а значит, и энергоэффективность электропередачи. Кроме того следует отметить для проводов *AAAC-Z* по сравнению со сталеалюминевыми проводами практически полное отсутствие внутренней коррозии и, как следствие, увеличение срока эксплуатации. Линейная арматура, применяемая с такими проводами, является серийной, а процесс монтажа не отличается от принятых в российских электросетях норм.

Провода типа *Z* уже около 40 лет применяются во всем мире. Их стойкость к пляске, вызываемой сильными порывами ветра, а также стойкость к снегоналипанию и обледенению подтверждены натурными испытаниями. Примерами применения таких проводов в России могут служить успешно реализованные проекты Сочинского кластера, в Краснодарском крае, в Крыму, на полуострове Ямал, в Хабаровском крае и на Сахалине – во всех случаях со сложными ветровыми и гололедными условиями эксплуатации. Строительство Крымского энергомоста, успешно завершённое в этом году, полностью выполнено (в части воздушных линий) с проводами марки *AAAC-Z455-2Z* производства российской компании «Ламифил» (рис. 3). В обосновании применения данного решения отмечается, что вследствие более высокой

крутильной жесткости и более гладкой наружной поверхности образование ледяных «рукавов» на таких проводах становится затруднительным, и эти отложения отделяются быстрее, чем у обычных проводов, что позволяет отказаться от плавки гололеда.

По отзывам заказчиков реализованные проекты не только важны с точки зрения надежности, но и позволяют достичь заданного экономического эффекта за счет использования опор меньшей высоты и стоимости или меньшего количества опор при увеличении длин пролетов, а также благодаря экономии на дорогостоящих станциях плавки гололеда. Уменьшение срока окупаемости проекта обеспечивается снижением электрических потерь в процессе эксплуатации, ростом пропускной способности и увеличением срока эксплуатации линии, а также за счет меньших эксплуатационных расходов. Электросети тратят на системы борьбы с гололедом, их проектирование, установку станций плавки гололеда и программных комплексов для управления этим процессом значительные средства. Кроме того применение плавки гололеда постоянным током помимо прямых расходов электроэнергии на нагрев проводов приводит к дополнительным затратам на переключения схем энергоснабжения и коммерческим потерям из-за возможных отключений потребителей на время выполнения плавки гололеда и восстановления сети после завершения операции. Таким образом, применение более дорогих инновационных проводов для защиты ЛЭП от ветра и гололеда экономически обосновано.

За последние годы были сняты многие барьеры при внедрении инновационных решений в электросетях [7]:

- скорректирована техническая политика ПАО «Россети», где нашли отражение направления инновационного развития;

- решены проблемы проектирования и монтажа новых проводов;

- производство передовых инновационных продуктов освоено российскими производителями и локализованными предприятиями, что позволило снизить на них цены и сделать более доступными для строителей;
- аттестованы наиболее востребованные, апробированные решения;
- введены новые ГОСТы по проводам.

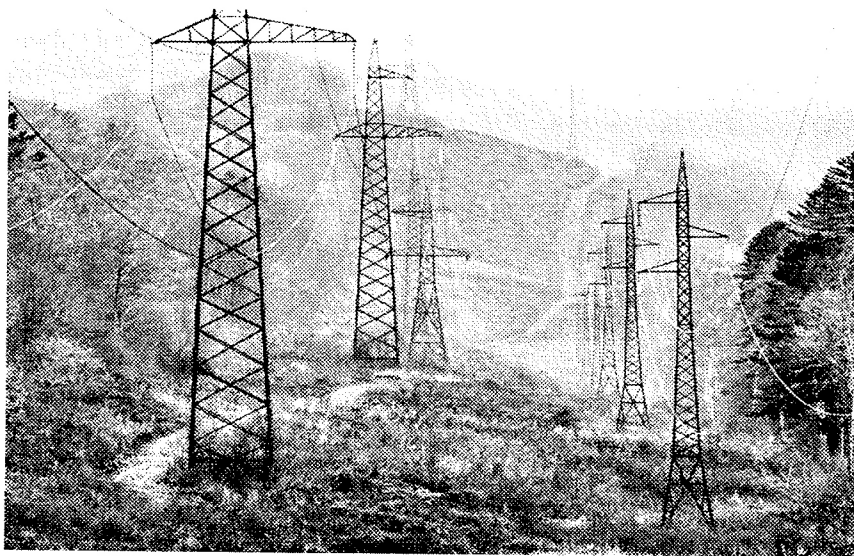


Рис. 3. Четыре линии 220 кВ Крымского энергомоста обеспечивают передачу 720 МВт электроэнергии

К сожалению, темпы внедрения инновационных решений в электрокомплексе еще недостаточны, широкомасштабного применения проводов нового поколения мы пока не дождались. Кризисы ли виноваты или консерватизм в головах некоторых руководителей, не знаю. Но верю, что наши дети, которые сейчас учатся и мечтают о светлом будущем, будут жить в великой стране с передовой энергетикой!

Список литературы

1. Ефимов Е.Н., Тимашова Л.В., Ясинская Н.В. Причины и характер повреждаемости компонентов воздушных линий электропередачи напряжением 110-750 кВ в 1997-2007 гг. - Журнал «Энергия единой сети», №5 (2012), с. 36-37.
2. Федоров Н.А. Новое поколение защиты и эффективности ВЛ. – Журнал «Энергетика» (Алматы), №3, 2015г., с.84-87.
3. Справочник по проводам нового поколения. – Журнал «Энергоэксперт», №1, 2015 г., с. 16-19.
4. Федоров Н.А. Энергоэффективность в электросетях. – Журнал «Оперативное управление в электроэнергетике: подготовка персонала и поддержание его квалификации», № 4, 2014 г., с.39-48
5. Гуревич Л.М., Власов А.В., Фокин В.А. Новые типы пластически деформированных проводов, грозозащитных тросов и ОКГТ. – Журнал «Электроэнергия. Передача и распределение», №5 (32), 2015 г., с. 66-71.
6. Горохов Е.В., Назим Я.В., Васильев В.Н., Лях В.В. Испытания на гололедофобность компактных и секторных проводов воздушных линий электропередачи в климатической камере. - Журнал «Металлические конструкции», №1, том 18, 2012 г., с.73-84.
7. Федоров Н.А. Проблемы внедрения проводов нового поколения и особенности проектирования ВЛ. – Журнал «Воздушные линии», № 2, 2014 г., с.10-14.