

ПРОВОДА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ – ЦЕНА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Н.А. Фёдоров, директор по развитию ООО «Ламифил»

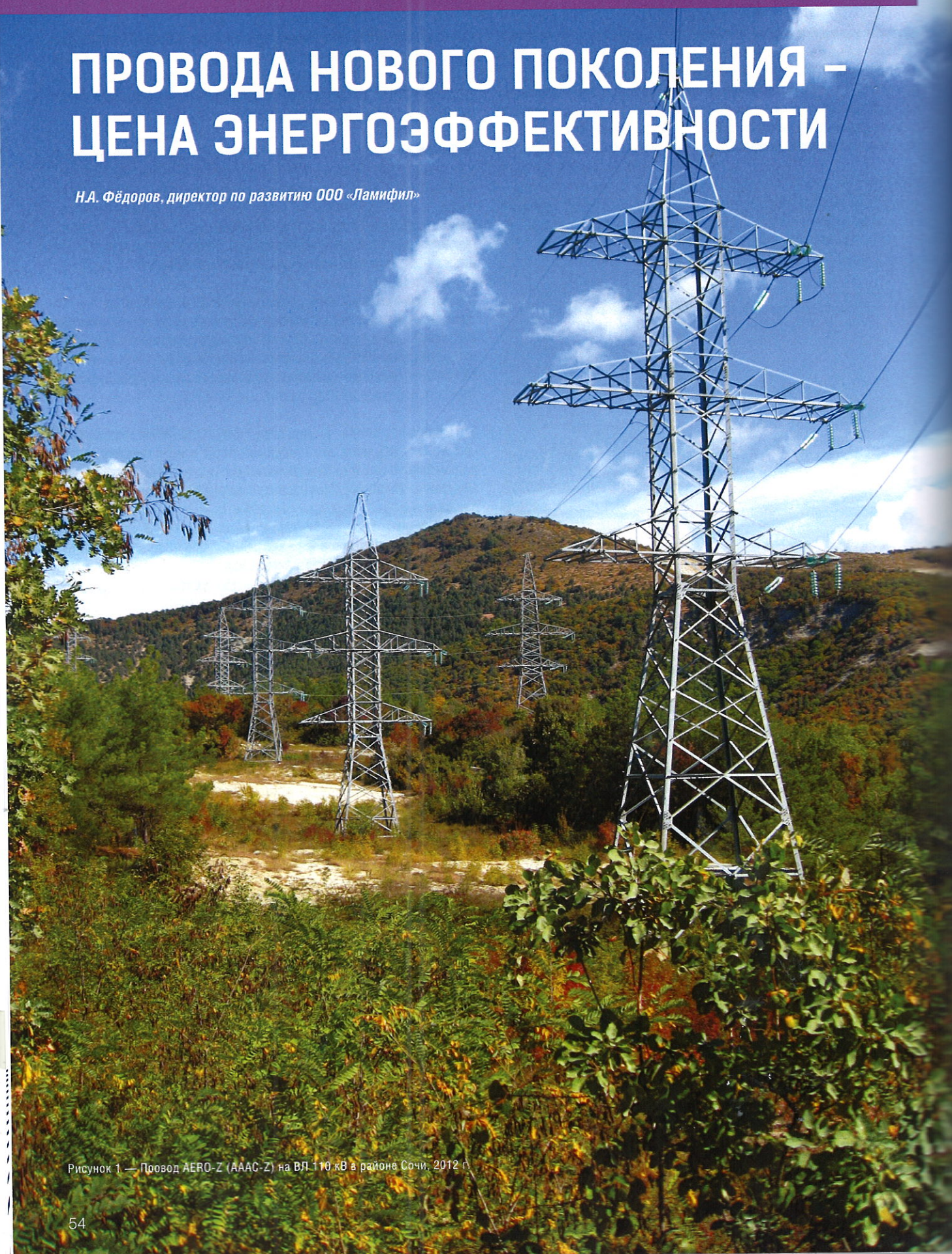


Рисунок 1 — Провод АЕРО-Z (АААС-Z) на ВЛ 110 кВ в районе Сочи, 2012 г.

Продолжающаяся реновация отечественного электросетевого комплекса затронула все направления развития отрасли. Применяемые инновации ориентированы на выполнение главных задач электроэнергетики, связанных с повышением энергоэффективности и обеспечением бесперебойного электроснабжения потребителей. При этом, внедрение нового оборудования требует дополнительных капитальных вложений, что зачастую является основным сдерживающим фактором при строительстве ВЛ, даже с учётом быстрого возврата инвестиций в процессе эксплуатации.

В последние годы модернизацию электросетевого комплекса, особенно в части реновации и строительства ВЛ, тесно связывают с проводами нового поколения (ПНП). При их производстве используются новые конструкции на основе профилированных проволок, а также инновационные материалы, включая специальные алюминиевые сплавы, термообработанный алюминий, высокопрочные стали с антикоррозионным покрытием и композитные материалы. Благодаря этому сегодня ПНП существенно превосходят традиционные (преимущественно сталеалюминиевые) провода по прочности, проводимости (при сравнимом диаметре,

погонной массе или пропускной способности) и стойкости к воздействию внешних климатических факторов при их эксплуатации.

Активное использование ПНП в российской энергетике началось примерно десять лет назад. Полученный за это время положительный опыт их эксплуатации позволяет говорить об эффективности применения проводов нового поколения.

Несмотря на очевидные технические преимущества ПНП перед традиционными проводами, в настоящее время существует ряд сдерживающих факторов для их массового внедрения в практику отечественного электросетевого комплекса. В первую очередь, это более высокая стоимость ПНП по сравнению с проводами АС, которые по-прежнему являются самыми массовыми при строительстве ВЛ в России и зарубежных странах. Таким образом, сегодня основным вопросом, который требует разрешения, является снижение цены на инновационные провода до уровня, который позволит начать их широкое внедрение. Для сравнения рассмотрим провода из списка Оборудование, технологии и материалы, допущенные к применению на объектах ПАО «Россети», и Реестра инновационных решений, опубликованных на сайте ПАО «Россети» (таблица 1).



Рисунок 2 — Провод АССС® на многогранных опорах ВЛ 220 кВ ПС «Орбита» — ПС «Спутник» в Калужской области, 2013 г.

Таблица 1 – Провода нового поколения серийного производства

Марка провода	Уникальный номер решения	Область инновационного решения	Вид оборудования или технологии к которому (которой) относится инновационное решение	Конструкция	Материал ТПЧ	Материал сердечника	Основной инновационный признак
Низкотемпературные (рабочая температура провода до 90°C)							
Аску или Аск2у	16-028-0014/1	Материалы	Провода	компактированный из трапецевидных проволок	электротехнический Al	высокопрочные стальные проволоки, покрытые Zn-Al сплавом	Компактность (уменьшение диаметра при сохранении пропускной способности)
АСВП	16-028-0025/1	Материалы	Провода	компактированный из обжатых круглых проволок	электротехнический Al	сталь	Повышенная пропускная способность (до 124%)
АААС-Z	16-028-0076/1	Материалы	Провода	компактированный из Z-образных проволок	Al-Mg-Si-сплав	Al-Mg-Si-сплав	Меньшая масса, чем у аналогов по пропускной способности
ААКСRZ	16-028-0076/2	Материалы	Провода	компактированный из Z-образных проволок	Al-Mg-Si-сплав	высокопрочная оцинкованная сталь	Компактность (уменьшение диаметра при сохранении пропускной способности)
Термостойкие (максимальная рабочая температура провода 150 + 210 °C)							
АСТ	16-028-0023/1	Материалы	Провода	из круглых проволок	Al-Zr-сплав	оцинкованная сталь	Рабочая температура до +210°C
АСПТ	16-028-0024/1	Материалы	Провода	компактированный из обжатых круглых проволок	Al-Zr-сплав	высокоуглеродистая сталь, плакированная Al	Рабочая температура +150-180°C
АСВТ	16-028-0025/2	Материалы	Провода	компактированный из обжатых круглых проволок	Al-Zr-сплав	сталь	Рабочая температура +150-180°C
АСПТк	16-028-0024/2	Материалы	Провода	компактированный из трапецевидных проволок	Al-Zr-сплав	высокоуглеродистая сталь, плакированная Al	Рабочая температура +150-180°C
АСПТз	16-028-0024/3	Материалы	Провода	компактированный из трапецевидных проволок и с зазором между ТПЧ и сердечником	Al-Zr-сплав	высокоуглеродистая сталь, плакированная Al	Рабочая температура +150-180°C
ТАСRS	16-028-0076/3	Материалы	Провода	из круглых проволок	Al-Zr-сплав	сталь, плакированная Al	Существенное повышение пропускной способности при заданной массе провода
ГZТАСRS	16-028-0076/3	Материалы	Провода	компактированный из трапецевидных проволок и с зазором между ТПЧ и сердечником	Al-Zr-сплав	высокопрочная оцинкованная сталь	Существенное повышение пропускной способности при заданной массе провода
АССС*	16-028-0076/4	Материалы	Провода	компактированный из трапецевидных проволок	термообработанный Al	композит на основе углеволокна	Энергоэффективность: снижение потерь и повышение прочности провода при одновременном снижении его массы и увеличении пропускной способности

Таблица 1 – Провода нового поколения серийного производства

Дополнительный инновационный признак 1	Дополнительный инновационный признак 2	Номинальное напряжение, кВ	Область применения решения	Решение аттестовано ПАО «Россети»	Эффект от применения решения
Нетермостойкие (рабочая температура провода до 90 °С)					
Стойкость к атмосферным воздействиям	Повышенная механическая прочность	110-750	ВЛ 110-750 кВ	да	• снижение ветровых нагрузок; • менее подвержен эффекту галлопирования; • меньшая вероятность налипания снега; • большая механическая прочность; • меньшие стрелы провеса; • возможность увеличения расстояния между опорами; • меньшее электрическое сопротивление; • снижение потерь на корону
Повышенная механическая прочность (до 167%)	Стойкость к атмосферным воздействиям	110-750	ВЛ 110-750 кВ	да	Снижение капитальных затрат при сооружении ВЛ. Повышение пропускной способности ВЛ и надежности их работы.
Компактность (уменьшение диаметра при сохранении пропускной способности)	Коррозионная стойкость и стойкость к атмосферным воздействиям	110-750	ВЛ 110-750 кВ	да	Повышение надежности ВЛ за счет: • снижения статической нагрузки на опоры; • крутильной жесткости провода. Повышение энергоэффективности проекта благодаря снижению тепловых потерь и потерь на корону, повышению пропускной способности линии, снижению металлоемкости при строительстве, снижению затрат на обслуживание, увеличению жизненного цикла.
Коррозионная стойкость и стойкость к атмосферным воздействиям	Повышенная механическая прочность	110-750	ВЛ 110-750 кВ	да	Повышение надежности ВЛ за счет повышенной прочности и крутильной жесткости провода, стойкости к гололедно-ветровым воздействиям. Повышение пропускной способности линии без увеличения сечения провода. Возможность увеличения длин пролетов, что позволяет реализовать большие переходы ВЛ, сократить количество и/или высоту опор. Снижения затрат на обслуживание, увеличение жизненного цикла.
Термостойкие (максимальная рабочая температура провода 150 + 210 °С)					
Повышенная пропускная способность		110-220	ВЛ 110-220 кВ	да	Наличие Al-Zr-сплава в составе провода (токоведущие жилы) позволяет длительно эксплуатировать его при температурах до 210 °С, допустимость работы ВЛ при перегрузке, повышающей температуру проводников сверх 90 °С
Повышенная пропускная способность		110-750	ВЛ 110-750 кВ	да	Повышение пропускной способности в нормальных и надежности в аварийных режимах
Повышенная пропускная способность (до 147%)	Повышенная механическая прочность (до 167%)	110-750	ВЛ 110-750 кВ	да	Повышение пропускной способности ВЛ
Повышенная пропускная способность	Стойкость к атмосферным воздействиям	110-750	ВЛ 110-750 кВ	да	Повышение пропускной способности в нормальных и надежности в аварийных режимах. Снижение воздействия ветровых и гололедных явлений на провода.
Повышенная пропускная способность	Стойкость к атмосферным воздействиям	110-750	ВЛ 110-750 кВ	нет	Повышение пропускной способности в нормальных и надежности в аварийных режимах. Снижение воздействия ветровых и гололедных явлений на провода.
Более высокая прочность при заданной массе провода		110-750	ВЛ 110-750 кВ	да	При одинаковых размерах и сопоставимых механических характеристиках позволяет вдвое увеличить рабочий ток по сравнению с проводом АС. При сравнимой пропускной способности позволяет снизить стрелы провеса и уменьшить нагрузку на опоры.
Более высокая прочность при заданной массе провода	Коррозионная стойкость и стойкость к атмосферным воздействиям	110-750	ВЛ 110-750 кВ	нет	При реконструкции ВЛ снижаются затраты на модернизацию инфраструктуры, сокращаются сроки реконструкции и стоимость проекта в целом за счет увеличения пропускной способности линии без замены опор. При новом строительстве объектов с большими колебаниями передаваемой мощности (например, ВИЭ) снижается металлоемкость и стоимость строительства в целом за счет снижения массы провода при заданной пропускной способности и сокращения количества опор при увеличении длин пролетов.
Существенное (в 3 раза) повышение пропускной способности при заданной массе провода или удвоенной длине пролета. Максимальная рабочая температура проводника +175 °С	Повышенная надежность провода благодаря более высокой прочности, меньшему диаметру, коррозионной стойкости и стойкости к атмосферным воздействиям	110-750	ВЛ 110-750 кВ	да	Повышение энергоэффективности электропередачи за счет: • уменьшения технологических потерь и снижения влияния на экологию; • повышения пропускной способности линии и передачи дополнительной мощности; • обеспечения бесперебойности энергоснабжения потребителей. Снижение стоимости строительства линий за счет применения более легких или более низких опор, уменьшения количества опор при увеличении длин пролетов. Снижение стоимости проектов реконструкции за счет решения задач по увеличению пропускной способности линии без замены опор. Снижение стоимости владения объектами электрокомплекса за счет повышения надежности, снижения эксплуатационных расходов и увеличения продолжительности жизненного цикла ВЛ.

СНИЖЕНИЕ ЦЕНЫ ПРОВОДА ПОСРЕДСТВОМ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПРОВОДА

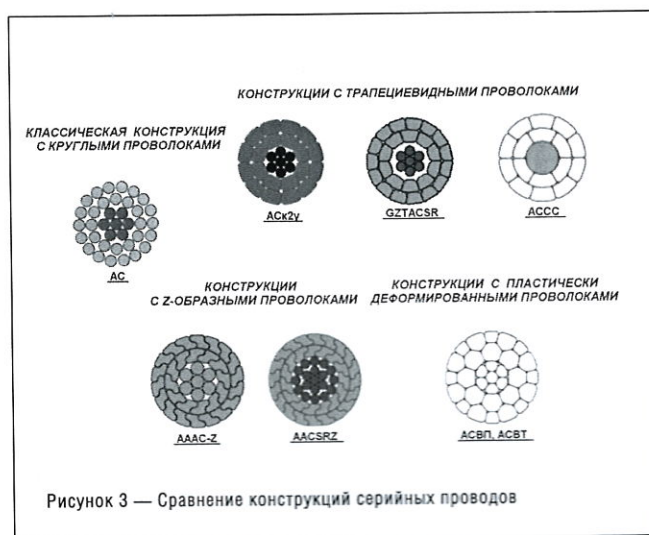
Изготовление компактированного провода нового поколения из профилированных проволок сложнее, чем провода классической конструкции из круглых проволок (рисунок 3). Это связано с более продолжительным, требующим большей точности процессом волочения заданного профиля.

По данным компании «Ламифил» затраты на производство провода из трапециевидной проволоки примерно на 20 % выше стоимости производства из проволоки круглой формы, а из Z-образной — на 30 %. Основными причинами более высокой стоимости производства ПНП являются:

1. Производство Z-образной проволоки выполняется на высокотехнологичном и более дорогом оборудовании; поэтому небольшое количество производителей могут предложить такую продукцию на рынке.
2. К свойствам катанки (например, пластичности), из которой изготавливается Z-образная проволока, предъявляются повышенные требования, что, естественно, сказывается на себестоимости произведённой продукции.

При этом инновационные провода имеют ряд технических преимуществ. Так, провода с внешними повивами из Z-образной проволоки имеют более высокую стойкость к механическим повреждениям; им не грозит эффект «птичьей клетки» при нарушениях тяжения при монтаже проводов, их надёжность выше.

Компактированные провода марок Аску, Аск2у, АСПТк, АААС-Z, ААСRZ и АССС® в сравнении с проводами АС имеют меньший диаметр при сравнимом эффективном сечении, гладкую поверхность и крутильную жёсткость, что определяет их стойкость к гололёдным и ветровым нагрузкам, более высокую надёжность. Производители кабельно-проводниковой продукции, понимая достоинства ПНП, пытаются исключить из процесса технологические операции, связанные с «профилированием проволоки до скрутки провода», заменив их на «механическое обжатие готового провода, скрученного из круглой проволоки». Тем самым проводу придается «компактированная» форма ПНП, при этом удешевляется технология.



И хотя сегодня провода марок АСВП и АСВТ присутствуют на рынке по цене ниже других компактированных проводов, но нужно иметь в виду, что мирового опыта их применения пока нет, как нет и продолжительного опыта их эксплуатации в условиях разных климатических районах России.

Дополнительное преимущество для термостойких (высокотемпературных) проводов высокой пропускной способности даёт наличие в их конструкции зазора между несущим сердечником и токопроводящей частью (ТПЧ). Это решение позволяет снизить коэффициент температурного линейного удлинения провода до $11,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, что характерно для стали (для проводов АС значение коэффициента находится в интервале $18,3 \div 19,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$). Это обеспечивает минимальные значения стрелы провеса провода при его нагреве. Несмотря на очевидные технические преимущества, данная технология требует специальной оснастки при скрутке провода, что увеличивает трудозатраты. Например, себестоимость проводов с зазором марок АСПТз и GZTACSR при прочих равных условиях дороже примерно на 10 %.

В зависимости от требований проекта, существуют способы экономии даже при условии применения новых проводов. Например, в случае, если заказчик отказывается от преимуществ проводов с зазором, и ставит задачу увеличения пропускной способности ВЛ, то, поступившись длиной пролёта для выдерживания габарита при расчётной стреле провеса, возможно использовать провода без зазора. При этом может увеличиться количество опор (и фундаментов), что потребует дополнительной площади землеотводов под них и приведёт к удорожанию линии с менее дорогим проводом.

Дальнейшее снижение себестоимости ПНП путём упрощения конструкции ведёт к возврату к классической конструкции из круглых проволок. В этом случае преимущества ПНП относительно традиционных проводов АС могут достигаться только применением современных материалов.

Термостойкие провода АСТ из сплава Al-Zr отличаются от АС более высокой рабочей температурой (до 210 °C) и, соответственно, повышенной пропускной способностью, во всем остальном провода АСТ похожи на АС.

РАЗЛИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ЦЕНА ПРОВОДА

Для изготовления ПНП с улучшенными механическими и электрическими свойствами используется катанка из специальных сплавов повышенной прочности и/или повышенной проводимости. Так, для проводов АААС-Z и ААСRZ используется катанка из сплава Al-Mg-Si. Её цена в России на 20 % выше, чем цена электротехнического алюминия для производства АС. Улучшенный сплав повышенной проводимости (с удельным электрическим сопротивлением на 6-7 % ниже стандартного) увеличивает цену провода примерно на 5 %. Стоимость термостойкого сплава TAL для проводов с максимальной рабочей температурой 150 °C дороже на 40 %. Ещё на 10-15 % больше стоит сплав ZTAL для проводов с максимальной рабочей температурой 210 °C.

Высокопрочная оцинкованная стальная проволока, выполненная на основании требований стандарта NBN EN 50189-2000 и применяемая для производства сердечников в проводах ААСRZ и GZTACSR (с разрывным усилием $1640 \div 1790 \text{ Н/мм}^2$), примерно в два раза дороже проволоки, изготовленной в соответствии с ГОСТ 9850

(с разрывным усилием $1200 \div 1300$ Н/мм²). Значительно больше стоит композитный сердечник для провода АССС®, имеющий при прочности на разрыв не менее 2157 Н/мм² (на 35–40 % прочнее сердечника АС) примерно в 3,5 раза меньшую массу, и исключаящий электрохимическую коррозию.

Традиционные материалы (электрохимический алюминий и стандартная оцинкованная стальная проволока), применяемые в проводах АС, при меньшей стоимости не дают тех более высоких механических и электрических характеристик, которых удается достичь в ПНП.

БЕЗ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВО ДЕШЕВЛЕ

Кроме особых конструкций и новых материалов в процессе производства ПНП используются новые технологии и дополнительные операции, которые не требовались для производства традиционных сталеалюминевых проводов. Например, речь идет о таких технологических процессах, как термообработка проволоки в специальных печах перед скруткой провода. Этот процесс занимает несколько часов, что, соответственно, удлиняет срок изготовления продукции, снижая производительность предприятия. Однако этот процесс не только улучшает электрические характеристики материала, но и повышает его прочность за счёт использования особых температурных режимов. Таким образом, можно сказать, что за каждым процентом улучшения качества продукции стоят дополнительные средства и затраты труда. Все это вполне оправданно, хотя неминуемо отражается на отпускной цене готового продукта.

ЦЕНА ПРИСУТСТВИЯ НА РЫНКЕ

Будущие производители проводов для ВЛ сознательно проходят процедуру аттестации ПАО «Россети». Без этого поставка продукции на объекты компании недопустима. В результате, к довольно высокой стоимости самой процедуры, добавляются затраты на комплекс испытаний системы «провод — арматура», состоящий в среднем из 10 тестов для каждого из двух типопредставителей (итого не менее 20 тестов для номенклатуры проводов одной марки). Эти затраты производители вынуждены закладывать в цену продукции.

МЕТОДЫ КОНКУРЕНЦИИ

При проведении сравнения стоимости проводов еще совсем недавно специалисты ориентировались исключительно на сечение провода. В современных условиях, при существующем разнообразии марок проводов, отличающихся конструкцией и использованными материалами, все труднее оценивать, насколько заявленные производителем преимущества соответствуют стоимости продукта.

Значения максимально-допустимого рабочего тока, необходимые для проверки режимов эксплуатации линии, представляются

производителями провода на основе расчетов, которые не регламентированы, вследствие чего, полученные результаты могут варьироваться в зависимости от заложенных начальных условий. Например, значения максимально-допустимого тока при скорости ветра 0,6 и 1,5 м/с могут отличаться на 100 А. Это создает условия для завышения характеристик проводов в маркетинговых целях, и может привести к ошибкам проектирования при невнимательности проектировщиков.

В настоящее время назрела необходимость разработки стандарта, который бы определил перечень характеристик проводов, которые производитель должен внести в свои каталоги и подтвердить протоколами испытаний. Все расчетные характеристики, включая максимально-допустимые токи при различных внешних температурах должны рассчитываться проектными институтами на основе согласованных методик. Это позволит избежать технических ошибок, повысить качество проектирования и обеспечить равные условия всем производителям проводов для ВЛ.

В качестве примера, можно привести термостойкий провод, который имеет максимально-допустимую температуру 210 °С (а не 150 °С). В этом случае, для его производства должна использоваться катанка марки ZTAL, а не более дешевая марки TAL. Отличие в термостойкости этих материалов определяется содержанием циркония [8]. В ZTAL его должно быть не менее 0,1 % (таблица 2).

Проверить корректность максимально допустимой температуры провода, указанной производителем, можно только посредством химического анализа использованного материала. Однако данную процедуру, как правило, заказчик выполняет лишь в случае внештатной и/или аварийной ситуации, при анализе причин её возникновения. Поэтому для подтверждения эксплуатационных характеристик термостойкого провода необходимо представление сертификата на примененные в производстве провода материалы.

А НУЖНО ЛИ ЖДАТЬ ПОКА ПОДЕШЕВЕЕТ?

Ориентируясь исключительно на традиционные решения в проекте, заказчик не рассматривает возможности повышения энергоэффективности электропередачи за счёт:

1. снижения потерь, в том числе тепловых, потерь на корону, снижения затрат на плавку гололёда;
2. повышение надёжности линии при применении инновационных проводов повышенной прочности и стойкости;
3. снижения материалоемкости строительства вследствие использования более лёгких термостойких проводов.

Таким образом, отказ от преимуществ ПНП не позволяет повысить энергоэффективность его электросетей, снизить аварийность ВЛ.

Таблица 2 – Химический состав термостойких сплавов

Сорт ГОСТ 1204	Содержание в сплаве, %										max темпера- тура, °С
	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Cr	Zn	V	Ti	Zr	
AL-TAL										< 0,1	150
AL-TAL										> 0,1	150
AL-TAL	0,3	0,8	0,3	0,2	0,03	0,03	0,03	0,01	0,02	> 0,1	210
AL-TAL										> 0,2	230

За последние годы наметилась положительная тенденция к существенному снижению отпускных цен на ПНП. Так, провод марки AACSRZ 251 в 2011 г. поставлялся Nexans (Франция — Бельгия) для ОАО «Кубаньэнерго» по цене 460 тыс. руб./км (без НДС). В настоящее время стоимость аналогичного провода российского производства в 2 раза ниже. Провод марки AAAC-Z 301-2Z в 2012 году производства Lamifil (Бельгия) закупался ОАО «Сахалинэнерго» по цене 716 тыс. руб./км. Цена же подобного отечественного провода без учёта доставки ниже примерно в 3 раза. В 2013 г. Lamifil (Бельгия) поставлял провод ACCC Brussels 430 для филиала ФСК ЕЭС — «МЭС Центра» по цене 1256 тыс. руб./км. Сегодня цена его российского аналога с тем же американским композитным сердечником (поскольку нет аналогичного отечественного) ниже почти на 40 %.

Столь существенное снижение цен на ПНП стало возможным благодаря локализации их производства в России, и освоению новых технологий отечественными производителями. К тому же, с ростом числа реализованных проектов возрастает интерес производителей к данной продукции. Усиление конкуренции также приводит к оптимизации цен. Однако этот процесс сдерживается указанными факторами, но будет, несомненно, развиваться за счёт постепенного роста объёмов производства и внедрения ПНП.

Хотя ждать ещё более кардинального снижения цен на ПНП в ближайшее время не стоит, у энергетиков есть резервы, которые могут быть использованы на внедрение инновационных решений. Участвовавшие в последние годы природные катаклизмы требуют вкладывать дополнительные средства, чтобы обеспечить надёжность электрических сетей. В этих условиях отме-

чается рост расходов компаний, входящих в ПАО «Россети», на реализацию ремонтных программ, включая содержание аварийных бригад, техники, ЗИП, резервных источников питания, оборудование для плавки гололёда и т. д. Например, по итогам 2017 г., объёмы финансирования ремонтных программ, опубликованные на сайтах ДЗО, составили:

- более 1,2 млрд руб. в Ленэнерго;
- 1,9 млрд руб. в МРСК Северо-Запада;
- 3,3 млрд руб. в МРСК Юга;
- 3,4 млрд руб. в МРСК Центра и Приволжья.

Оптимизация ремонтных программ и использование части этих ресурсов на модернизацию ВЛ с помощью ПНП могли бы повысить надёжность электросетей, снизить аварийность и риски отключений потребителей, а вместе с тем остановить рост расходов на поддержание работоспособности электросетей в сложных погодных условиях.

Расчёт сроков окупаемости затрат на реализацию проекта на строительство (реконструкцию) ВЛ с использованием ПНП вследствие снижения потерь и/или увеличения пропускной способности линии должен основываться на технических требованиях, устанавливаемых заказчиком в ТЗ. Эти требования следует определять в процессе проведения инженерных изысканий и объективного технико-экономического сравнения возможных вариантов с учётом не только затрат на строительство, но и положительных эффектов в период эксплуатации линии. Как показывают выполненные расчёты (таблицы 3 и 4), приемлемые сроки окупаемости дополнительных затрат, связанных с использованием ПНП, составляют от нескольких месяцев до 3 лет.

Таблица 3 – Пример расчета экономического эффекта для ВЛ 110 кВ (длина 33 км, 1 цепь)

	ед.изм.	AC 95/16	ACCC Silvassa 130
Тепловые потери			
Эл. сопротивление ПТ при 20°C	Ом/км	0,3007	0,229
			24,0%
Тепловые потери в час	Вт/км	40 023	29 621
Цена 1 МВт·ч (по тарифу на технологические потери)	руб./МВт·ч	2016,04	
Общая стоимость тепловых потерь в год на 1 км провода	руб./км	707 314	523 477
Эффект в год на 1 км провода	руб./км	0	183 837
Эффект в год на всю линию	руб.	0	18 199 862
Стоимость 1 км провода без НДС	руб.	59 170	501 525
Дополнительные затраты	руб.	0	43 793 145
Срок окупаемости дополнительных затрат	лет	2,4	
Дополнительная передаваемая мощность			
Максимально допустимый ток	A	330	670
			103%
Максимальная передаваемая мощность при cos=0,9	МВт	56,5	114,8
Дополнительная передаваемая мощность при коэффициенте загрузки 0,6	МВт	0	58,2
			103,0%
Цена 1 МВт·ч (по ставке на передачу эл.энергии)	руб./МВт·ч	229	
Эффект в год на всю линию	руб.	116 798 066	
Срок окупаемости дополнительных затрат	лет	0,375	

Таблица 4 – Пример расчета экономического эффекта для ВЛ 500 кВ (длина 50 км, 2 цепи, 3 провода в фазе)

	ед.изм.	АС 300/66	АААС-Z 366-2Z (ВП)
Тепловые потери			
Эл. сопротивление ПТ при 20°С	Ом/км	0,100	0,085
			15,0%
Тепловые потери в час	Вт/км	60 842	55 164
Цена 1 МВт·ч (по тарифу на технологические потери)	руб./МВт·ч	2014,04	
Общая стоимость тепловых потерь в год на 1 км провода	руб./км	1 074 172	973 930
Эффект в год на 1 км провода	руб./км	0	100 242
Эффект в год на всю линию	руб.	0	91 716 966
Стоимость 1 км провода без НДС	руб.	198 000	241 560
Дополнительные затраты	руб.	0	39 855 570
Срок окупаемости дополнительных затрат	лет	0,4	
Дополнительная передаваемая мощность			
Максимально допустимый ток	A	680	919
			35%
Максимальная передаваемая мощность при cos=0,9	МВт	529	715
Дополнительная передаваемая мощность при коэффициенте загрузки 0,6	МВт	0	186,1
			35,1%
Цена 1 МВт·ч (по ставке на передачу эл.энергии)	руб./МВт·ч	229	
Эффект в год на всю линию	руб.	373 191 683	
Срок окупаемости дополнительных затрат	лет	0,107	



Рисунок 4 — Линии 220 кВ Крымского энергомоста, Краснодарский край, 2016 г.

Примером масштабного использования ПНП в России является реализация проекта четырёх ВЛ 220 кВ Крымского энергомоста (рисунок 4). В период 2015–2016 гг. для реализации проекта было поставлено 2100 км провода марки АААС-З455-22.

В отзыве по эксплуатации провода от 13.04.2017 г. заказчик — филиал ФСК ЕЭС — МЭС Юга подтверждает, что «за истекший период эксплуатации каких-либо технологических нарушений с указанным проводом не выявлено. В зимний период 2015–2016 гг. гололедообразование и пляска проводов на ВЛ не наблюдалась».

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПНП

Сфера применения ПНП широкая. Успешный опыт работы компании «Ламифил» на российском рынке и опыт ее зарубежных партнеров позволяют акцентировать наиболее востребованные и перспективные направления применения различных ПНП:

- провода компактированные с композитным сердечником, как самые энергоэффективные, но и самые дорогие — для «умных сетей» и реконструкции с минимальными затратами на модернизацию инфраструктуры (например, без замены опор);
- провода термостойкие повышенной пропускной способности — для вывода мощности объектов генерации с перепадами выдаваемой мощности (ВИЭ), либо для сетей с большими перепадами потребляемой мощности [9];
- провода термостойкие с зазором — для компактных ВЛ с ограничением зоны строительства или реконструкции;
- провода, усиленные высокопрочным стальным сердечником — для больших переходов;
- провода компактированные облегченные из прочного алюминиевого сплава — для проектов с жесткими условиями эксплуатации, например, удаленных труднодоступных районов, в целях снижения потерь, причем не только для ВЛ класса 110–220 кВ, но и для ВЛ 330–500 кВ с расщепленной фазой.

Выводы

1. Провода нового поколения для ВЛ утверждают свое превосходство над традиционными сталеалюминевыми проводами, подтверждают экономическую эффективность, обеспечивая

выполнение главной задачи — повышение энергоэффективности и обеспечение надёжности электроснабжения потребителей. Для массового применения инновационных проводов необходимо дальнейшее снижение стоимости материалов, оборудования, издержек производства, что возможно за счёт роста спроса на данную продукцию, увеличения количества проектов с применением ПНП.

2. Обоснованные технические требования на этапе подготовки проекта позволят определить целесообразность применения ПНП, а при правильном выборе использовать все преимущества инновационных проводов при реализации проекта для достижения максимальной энергоэффективности.
3. Оптимизация ремонтных программ электросетевых организаций может дать необходимые ресурсы для применения инновационных решений, включая ПНП, повышающих надёжность электросетей, снижающих аварийность и риски отключений потребителей. В свою очередь, это повысит спрос на эту продукцию и подтолкнет производителей к наращиванию объёмов производства, к снижению цен на них.
4. Расчёты сроков окупаемости затрат на реализацию проекта на строительство (реконструкцию) ВЛ с использованием ПНП вследствие снижения потерь и/или увеличения пропускной способности линии показывают приемлемые (от нескольких месяцев до 3 лет) сроки окупаемости дополнительных затрат, связанных с использованием ПНП.
5. Увеличение количества проектов, в которых будут применяться ПНП, повлечёт за собой рост объёмов их производства и, соответственно, снижение стоимости продукции. Логичное уменьшение цен на энергоэффективные провода, возможно, в перспективе, создаст условия для снижения тарифов на электроэнергию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фёдоров Н.А. Энергоэффективность в электросетях. — «Оперативное управление в электроэнергетике: подготовка персонала и поддержание его квалификации». Научно-технический журнал, № 4, 2014 г., с.39–48.
2. Фёдоров Н.А. Новое поколение защиты и эффективности ВЛ. — «Энергетика», Научно-технический журнал Союза инженеров Республики Казахстан, № 3, 2015 г., с.84–87.
3. Фёдоров Н.А. Провода нового поколения. — «Воздушные линии». Научно-технический журнал, № 3–4, 2015 г., с.50–54.
4. Филичев А.В. Врождённый иммунитет высоковольтных линий электропередачи. — «Энергетика», Научно-технический журнал Союза инженеров Республики Казахстан, № 3, 2016 г., с.66–71.
5. Фёдоров Н.А. Провода нового поколения и вопросы надёжности ЛЭП. — «Вопросы надёжности работы систем энергоснабжения в условиях гололедно-ветровых нагрузок». Материалы международной научно-практической конференции, 19 октября 2016 г., УГАТУ, с.42–49.
6. Курьянов В.Н. и др. Инновационные высокоэффективные провода для ВЛ. — Журнал «Энергия единой сети», №4 (27), 2016 г., с.70–78.
7. Курьянов В.Н. и др. Применение отечественных высокотемпературных проводов АСВТ для ВЛ 110 кВ и их эффективность. Журнал «Энергия единой сети», № 5 (34), 2017 г., с.12–18.
8. Спецификации Lamifil n.v., 2016 г.
9. Макоклюев Б.И. Особенности и тенденции электропотребления в России. — Журнал «Энергия единой сети», № 5 (34), 2017 г., с.64–76.