

Голованов Игорь Григорьевич,

к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: golovanov_ig@mail.ru

Гусев Илья Григорьевич,

ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
обучающийся группы ЭЭ-22-1, e-mail: reno 11740@ gmail.com

Шитенков Григорий Александрович,

ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
обучающийся группы ЭЭ-22-1, e-mail: gregory shitenkov@yandexl.ru

Головатюков Леонид Константинович,

ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
обучающийся группы ЭЭ-22-1, e-mail: leonid.golovatiukov@mail.ru

МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Golovanov I.G., Gusev I.G., Shitenkov G.A., Golovatyukov L.K.

MEASURES TO REDUCE ELECTRICITY LOSSES IN THE POWER SUPPLY SYSTEM OF THE IRKUTSK REGION DURING THE MODERNIZATION AND CONSTRUCTION OF NEW HIGH-VOLTAGE OVERHEAD LINES

Аннотация. Согласно требований приказа Министерства энергетики Российской Федерации № 108 от 28.02.2023 года рассмотрен вопрос о модернизации и строительстве новых электроэнергетических систем и сетей в Иркутской области.

Ключевые слова: электроснабжение, надёжность электроснабжения, высоковольтные линии электропередачи, электроэнергетические системы и сети.

Abstract. According to the requirements of Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation No. 108 dated February 28, 2023, the issue of modernization and construction of new electrical power systems and networks in the Irkutsk region was considered.

Keywords power supply, reliability of power supply, high-voltage transmission lines, electric power systems and networks.

Основное направление увеличения передачи электрической энергии на расстояние – это повышение пропускной способности линий электропередачи (ЛЭП). Пропускная способность электрической сети – технологически максимально допустимое значение мощности, которое может быть передано с учётом условий эксплуатации и параметров надёжности функционирования электроэнергетических систем. Пропускная способность зависит от напряжения в начале и в конце линии, от её длины и от волновых характеристик (волнового сопротивления и коэффициента изменения фазы) [1]. В настоящее время выделяются следующие основные пути повышения пропускной способности высоковольтных линий электропередачи:

– использование инновационных технологий в производстве проводов, что является одним из наиболее перспективных способов увеличения пропускной способности ЛЭП. Увеличение пропускной способности достигает кратности 2 и 2,5 раз для термостойких проводов;

– компактные воздушные линии электропередачи повышенной пропускной способности позволяют увеличивать передаваемую мощность за счёт уменьшения междуфазных расстояний, расщепления проводов, снижающего их индуктивное сопротивление, и увеличения эквивалентного радиуса фазы;

– воздушные линии электропередачи с расщеплённой резервной фазой: данный способ является схемно-техническим решением повышения пропускной способности для существующей двухцепной трёхфазной линии электропередачи. Схема резервирования, которая заключается в расщеплении на три провода фазы показывает возрастание натуральной мощности от 30 до 40 %. Однако в данной схеме резервирования рабочей цепи четвертой фазой есть и недостаток, который заключается в наличии несимметрии, а также происходит недоиспользование суммарного сечения проводов;

– применение устройств FACTS: повышение пропускной способности возможно путём установки в систему передачи электроэнергии специальных управляемых устройств, называемых устройствами FACTS (Flexible AC Transmission System – гибкая система передачи переменного тока) [2].

В таблице 1 представлены основные параметры пропускной способности ЛЭП от 35 до 1150 кВ.

Таблица 1

Пропускная способность линий электропитания от 35 до 1150 кВ

Номинальное напряжение линии, кВ	Наибольшая передаваемая мощность на одну цепь, МВт	Наибольшая длина передачи, км
35	от 5 до 15	от 30 до 60
110	от 25 до 50	от 50 до 150
220	от 100 до 200	от 150 до 250
330	от 300 до 400	от 200 до 300
400	от 500 до 700	от 600 до 1000
500	от 700 до 900	от 800 до 1200
750	от 1800 до 2200	от 1200 до 2000
1150	от 4000 до 6000	от 2500 до 3000

Согласно требованиям приказа №108 от 28.02.2023 [3] по повышению надёжности и пропускной способности ЛЭП, в процессе модернизации и строительства новых электроэнергетических систем и сетей (ЭЭС и С) потребуется внедрение новых технологий и методов строительства. Так как потребление электроэнергии в Иркутской области будет расти, сетевые компании должны реконструировать существующие сети с увеличением сечения провода, и соответственно увеличением его массы. Последнее может быть затруднено особенно при пролегании трассы ЛЭП в густонаселённых районах, национальных парках, заповедниках и других зонах. Научно-технический прогресс не стоит на месте,

недавние разработанные технологии, которые позволили выпускать провода, сочетающие в себе высокую механическую прочность и малый вес без снижения пропускной способности, привлекли интерес разработчиков ЭЭС и С. Следующая проблема электрических сетей – это потери электрической энергии. Величина потерь электрической энергии в сетях различного напряжения представлены в таблице 2 [4].

Таблица 2

Величина потерь электрической энергии в РФ в %

Класс сетей	Потери энергии	Доля в общем объеме
330 - 500 кВ	до 25%	11%
220 кВ	до 27%	15%
35 - 110 кВ	до 43%	36%
6 - 20 кВ	до 34%	26%
0,4 кВ	до 30%	7%
Потери холостого хода	–	25%

Основными из этих мероприятий, помимо включённых в [4], для системообразующих электрических сетей 110 кВ и выше являются следующие:

- налаживание серийного производства и широкое внедрение регулируемых компенсирующих устройств (управляемых шунтируемых реакторов, статических компенсаторов реактивной мощности) для оптимизации потоков реактивной мощности и снижения недопустимых или опасных уровней напряжения в узлах сетей;

- строительство новых линий электропередачи и повышение пропускной способности существующих линий для выдачи активной мощности от «запертых» электростанций для ликвидации дефицитных узлов и завышенных транзитных перетоков;

- развитие нетрадиционной и возобновляемой энергетики (малых ГЭС, ветроэлектростанций, приливных, геотермальных ГЭС и т. п.) для выдачи малых мощностей в удалённые дефицитные узлы электрических сетей.

Одним из направлений повышения надёжности и пропускной способности проводов является технология проводов с применением провода из композитного материала. Современные высоковольтные провода серии АС используют стальной сердечник. Стандартные стальные сердечники могут перегреться в условиях пиковых электрических нагрузок, что приводит к растяжению провода и провисанию ниже допустимой нормы. В противоположность этому, провод с сердечником из композитов обладает более низким коэффициентом термического

расширения и поэтому они менее подвержены тепловому расширению, чем проводники с стальными сердечниками.

Свойства композитных материалов – высокое отношение прочности к весу и малая величина провисания, что приводит к увеличению пролётов между опорами, уменьшая количество опор в линии на 16 %. Алюминиевый проводниковый провод с композитным сердечником (Aluminum Conductor Composite Core (ACCC) cable) от компании Composite Technology Corp.'s (СТС, Irvine, Calif) построен вокруг углеволоконного и стекловолоконного эпоксидного ядра (рисунок 1).



Рисунок 1 – Внешний вид провода с композитным сердечником
На рисунке 2 представлен внешний вид поверхности провода AERO-Z [5].

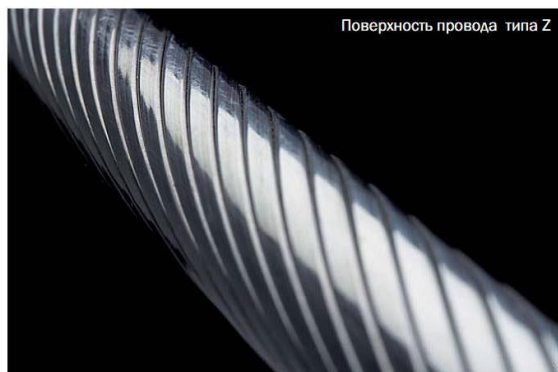


Рисунок 3 – Внешний вид поверхности провода по технологии AERO-Z

Связанные волокна пропитываются высокотемпературной связующей эпоксидной смолой. Слой стеклопластика служит двум целям:

- он отделяет углеволокно от проводящего алюминиевого покрытия для предотвращения гальванической коррозии;
- он «уравновешивает» более хрупкое углеволокно и улучшает гибкость и прочность сердечника.

В таблице 3 приведены сравнительные характеристики сталеалюминиевого провода AC 240/56 и AERO-Z 346-2Z [5].

Таблица 3

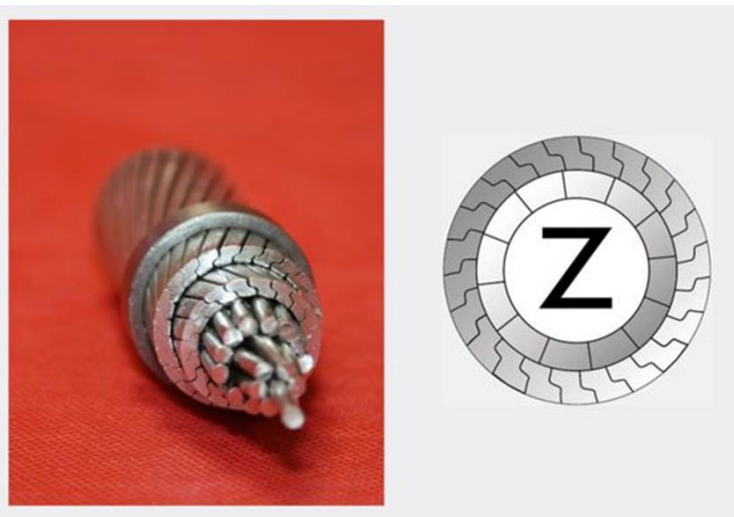
Сравнение проводов стандартных и технологии Аеро-Z

Марка	Диаметр, мм	Сечение, мм ²	Сопротивление, Ом/км	Разрывное усилие, кг	Масса, кг/км	Аэро. сопр.
АС 240/56	22,4	241/56,3 (100 %)	0,12182	9778	1106	0,95
Аеро-Z 346 2Z	22,4	345/65 (143 %)	0,0974	11132	958	0,8
Аеро-Z 366 2Z	23,1	366,13 (151%)	0,0919	11617	1014	0,8

В протяжённой, многоцепной линии, провода с композитными сердечниками передают в два раза больше мощности по сравнению с проводом со стальным сердечником такого же веса и напряжения.

Другим путём решения проблемы является применение так называемых компактных проводов типа АЕРО-Z. Лабораторный тест на воздействие удара молнии в провод типа АЕРО-Z показал, что при повреждении до 5 Z-образных проводников сохраняется полная механическая прочность данного провода. Также, благодаря плотной скрутке практически исключается проникновение во внутренние слои воды и загрязнений, следовательно, снижается коррозия внутренних слоев провода.

Основная особенность провода АЕРО-Z заключается в форме проволок токопроводящих слоев – их сечение напоминает букву «Z» (рисунок 3).



а)

б)

Рисунок 3 – Внешний вид а) и срез провода АЕРО-Z б)

Чтобы образовался коронный разряд, напряжённость поля должна быть выше на 15 %, чем у обычных проводов. В процессе эксплуатации провода Аеро-

Z такой конструкции меньше провисают. Соответственно, можно увеличивать габаритные пролёты и уменьшать число опор. Нагрузка на них будет меньше, Аэродинамическое сопротивление и проводов технологии Aero-Z на треть меньше, чем у провода АС. Провода Aero-Z лучше обдуваются ветром, а значит и опоры не испытывают больших ветровых нагрузок. Даже если и возникла пляска, она затухает в три раза быстрее, да и амплитуда её меньше.

Таким образом, предлагаемые на российском рынке провода Aero-Z имеют следующие основные преимущества по сравнению с обычными проводами:

- резкое снижение потерь при транспортировке электроэнергии по линиям электропередачи (особенно по магистральным);
- практически полное отсутствие внешней коррозии проводников;
- резкое снижение пляски проводов от ветровых нагрузок;
- уменьшение налипания снега и льда на проводах;
- уменьшение нагрузки на поддерживающие устройства ЛЭП, что приводит к возможному увеличению длин пролётов и экономии до 16 % числа опор;
- возможность организации каналов передачи информации по оптоволокну внутри проводов и молниезащитных тросов;
- при равных диаметрах в условиях постоянной нормальной эксплуатации имеется прирост допустимой нагрузки по току от 7 до 16 % и, как следствие, снижение тепловых джоулевских потерь от 13 до 26 %;
- коэффициент аэродинамического сопротивления компактных проводов снижается от 25 до 50 % по сравнению с обычными проводами при воздействии ветра с высокой скоростью.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Перинский Т.В.** Увеличение пропускной способности линии 6-10 кВ. Новосибирск, 2008 г. С. 235.

2. Повышение пропускной способности ЛЭП. [Электронный ресурс]// Повышение пропускной способности ЛЭП. Часть первая. [http: www.energoboard.ru/post/ 564](http://www.energoboard.ru/post/564), (дата обращения 11.03.2024 г.).

3. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации №108 от 28.02.2023.г. [Электронный ресурс] // «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2023 – 2028 г.г.». <https://minenergo.gov.ru/system/download/21366/172564>. (дата обращения: 11.03.2024).

4. **Воротницкий В.Э., Калинин М.А., Апраткин В.Н.** Мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях энергоснабжающих организаций. [Электронный ресурс]// [https://www.abok.ru/fo spec/articles.php.nid =206](https://www.abok.ru/fo_spec/articles.php.nid=206). (дата обращения 11.03.2024 г.).

5. Характеристики провода AERO-Z. Линии с проводом AERO-Z и AAACZ – 8 преимуществ. Технические характеристики и сравнение с проводами АС. [Электронный ресурс] // <https://pure-acoustics.ru/karakteristiki-provoda-aero-z/> (дата обращения 11.03.2024 г.).