

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОВОДОВ АСВТ ДЛЯ ВЛ-110 КВ

Аннотация

В современном электросетевом комплексе России существует проблема физического и морального износа оборудования и как следствие его низкой энергоэффективности. Важнейшим показателем энергетической эффективности электроэнергетической системы является уровень потерь энергии. В условиях роста потерь электроэнергии в электрических сетях увеличивается количество вопросов, требующих безотлагательного решения. Среди них: реконструкция и техническое перевооружение электрических сетей; совершенствование проектных решений путем использования прогрессивных технических разработок, современных технологий и материалов, повышающих безотказность, долговечность и ремонтпригодность линий электропередачи.

Ключевые слова: электросетевой комплекс, инновационные проводники, потери электроэнергии, совершенствование проектных решений, высокотемпературный провод, реконструкция и техническое перевооружение.

Введение

В настоящее время актуален вопрос поиска путей повышения энергоэффективности оборудования электросетевого комплекса одним из которых является внедрения инновационных проводников с улучшенными характеристиками: высокой электропроводностью, высокая механическая прочность, устойчивостью к высоким температурам, старению и агрессивным воздействиям со стороны окружающей среды.

Оптимизация потерь электроэнергии в электрических сетях требует незамедлительного внедрения некоторых мероприятий:

модернизация электросетевого оборудования и внедрение новых технологий энергосбережения,

научно-исследовательские, проектные и опытно-конструкторские работы, связанные с расчетами, анализом, нормированием и снижением потерь электроэнергии в электрических сетях,

Вследствие постоянного увеличения энергопотребления во многих городах и регионах страны возникает проблема недостаточной пропускной способности линий электропередач.

С целью повышения экономичности и эксплуатационной надежности при сооружении и реконструкции воздушных линий электропередач высокого и сверхвысокого напряжения необходимо:

- совершенствование нормативно-правовой базы, организация систем мониторинга баланса и потерь;

- совершенствование проектных решений путем использования прогрессивных технических решений и современных технологий и материалов, повышающих безотказность, долговечность и ремонтпригодность линий электропередачи;

- экономическое обоснование надежности воздушной линии электропередачи с учетом ее назначения;

- использование конструктивных решений на основе арматуры с улучшенными электромеханическими характеристиками и повышенной надежностью;

- проведение инструментального исследования элементов ВЛЭП, эксплуатируемых более 30 лет, с целью определения объемов реконструкции или модернизации.

Применение отечественных инновационных высокотемпературных проводов АСВТ.

В качестве приоритетных направлений политики модернизации электросетевого строительства рассматриваются реконструкция и техническое перевооружение морально устаревшего и физически изношенного оборудования. При сроках службы от 50 лет предусматривается полное восстановление электропередачи на железобетонных и металлических опорах, при меньших сроках – реконструкция активной части воздушных линий

Высокопрочный неизолированный сталеалюминевый провод АСВТ изготавливается в трёх вариантах [1,3].

По первому варианту (рисунок 1), конструкция металлического оцинкованного сердечника представлена в виде центральной проволоки и повива из шести проволок. Вокруг сердечника сделаны два повива из проволок разного сечения по 14 шт. каждый.

По второму варианту (рисунок 1), конструкция металлического оцинкованного сердечника представлена в виде центральной проволоки и повива из семи проволок. Как и у провода первого исполнения, вокруг сердечника сделаны два повива из проволок разного сечения по 14 шт. каждый.

По третьему варианту (рис. 2), сердечник выполнен из 7 проволок, аналогично как для варианта 1. Вокруг сердечника сделан последовательно первый повив из 8 алюминиевых проволок, второй повив чередующийся из 8 проволок большего диаметра и 8 проволок меньшего диаметра.

Во всех вариантах исполнения провода АСВТ (АСВП) сердечник пластически деформирован по наружным поверхностям проволоки со степенью обжатия площади поперечного сечения 10-12,5%. Наружные поверхности проволок пластически деформированы со степенью обжатия площади поперечного сечения 11,5-13,5%.

Стальной сердечник изготавливается из оцинкованных проволок, с временным сопротивлением разрыву, не менее 1960 Н/мм² по ГОСТ 7372-79 «Проволока стальная канатная. Технические условия». Сердечник

покрывается слоем термостойкой смазки, толщиной $0,3 \div 0,7$ мм, стойкой к воздействию высокой температуры. Поверх слоя смазки последовательно располагаются повивы проволок из сплава на основе алюминия, включающий цирконий $0,20 \div 0,40$ вес. %.

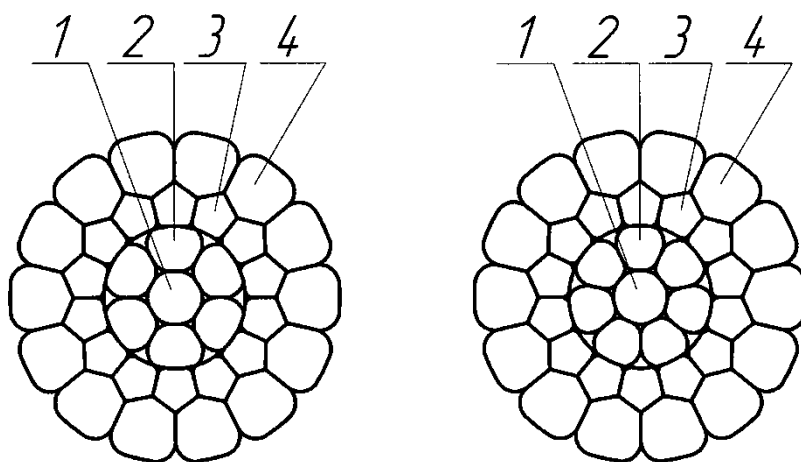


Рисунок 1 – Провод высокотемпературный (высокопрочный) АСВТ (АСВП) исп.1, исп.2: 1 – центральный повив стального сердечника; 2 – проволоки стального сердечника; 3 – алюминиевые проволоки первого повива; 4 – алюминиевые проволоки второго повива.

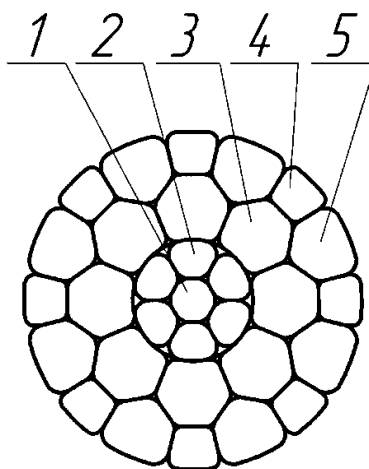


Рисунок 2 – Провод высокотемпературный (высокопрочный) АСВТ (АСВП) исп.3: 1 – центральный повив стального сердечника; 2 – проволоки стального сердечника; 3 – алюминиевые проволоки первого повива; 4,5 – алюминиевые проволоки второго повива.

Отличие данной конструкции от стандартных сталеалюминиевых проводов АС состоит в том, что перед свивкой стальной сердечник и проволоки повивов пластически деформируют. За счет применения технологии компактирования провода предотвращается раскручивание провода и взаимное перемещение его элементов под действием сил на растяжение.

В отличие от стандартного провода, токопроводящие проволоки у АСВТ выполнены из алюмининево-циркониевого сплава. Добавки циркония в алюминиевый сплав повышают прочность и температуру рекристаллизации, при этом практически не снижают его проводимость.

Расчет предельных токовых нагрузок.

Действующими Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) допустимая токовая нагрузка по нагреву проводов определяется с учетом наиболее высокой температуры провода $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Опыт эксплуатации и многочисленные исследования показали, что без ущерба для прочности провода можно повысить его температуру до $90\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Расчет предельных токовых нагрузок в районах с максимальной температурой воздуха ниже $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ допускается производить без учета влияния солнечной радиации. Поглощенная проводом энергия солнца в умеренных широтах может повысить температуру провода, работающего в диапазоне температур $60\text{--}70\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более, всего на $2\text{--}3\text{ }^{\circ}\text{C}$, что лежит в пределах точности расчета [2].

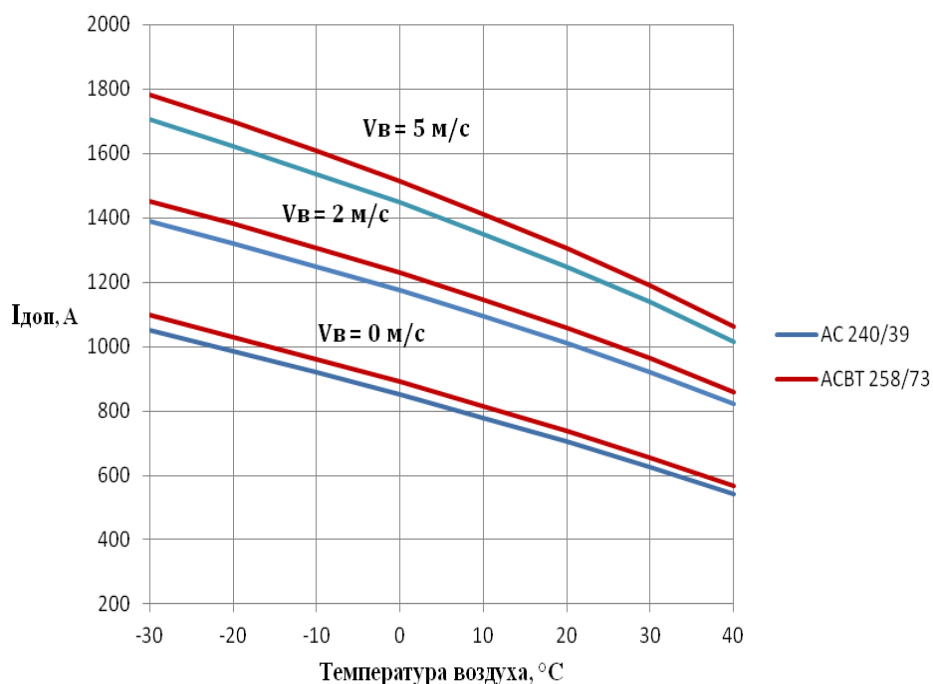


Рисунок 3 – График зависимости токовой нагрузки от температуры воздуха для $t_{\text{пр}} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ при различных скоростях ветра

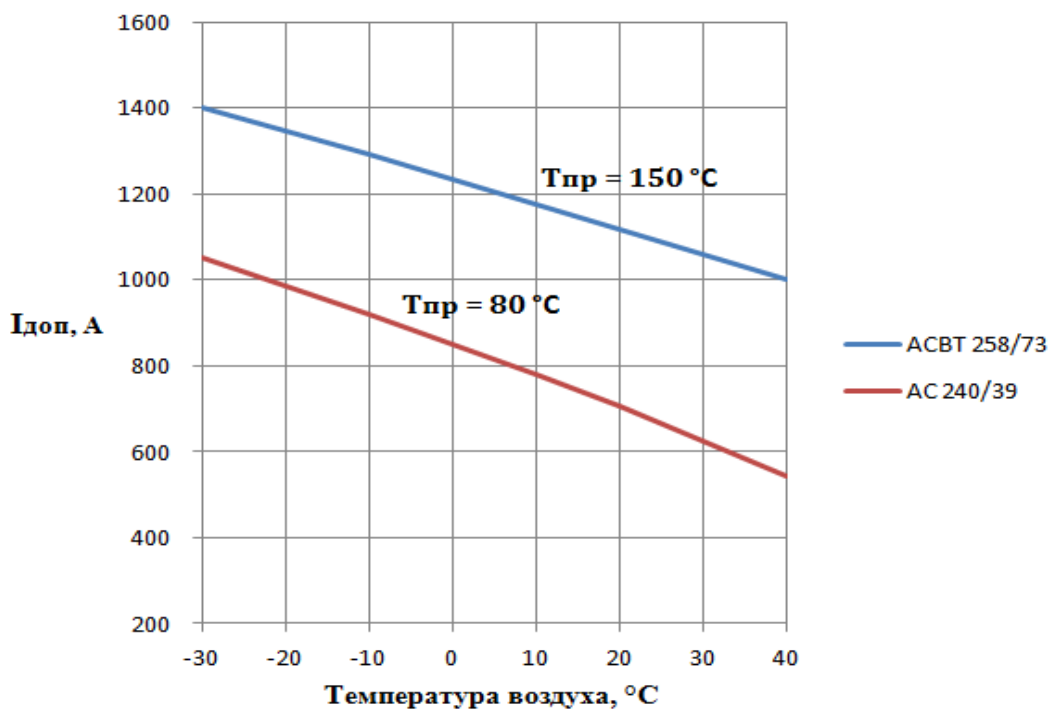


Рисунок 4 – График зависимости токовой нагрузки от температуры воздуха для проводов АС и АСВТ одинакового диаметра при скорости ветра 1,2 м/с.

На рисунке 3 представлен график зависимости токовой нагрузки от температуры воздуха для $t_{пр} = 80\text{ °С}$ при различных скоростях ветра. Провод марки АСВТ в сравнении с проводом АС способен выдержать большую нагрузку при равных условиях окружающей среды. Разница допустимой нагрузки для сравниваемых проводов составляет 5%. При увеличении тока в проводе, температура провода АСВТ ниже, чем у провода АС. Разница значений особенно заметна при больших нагрузках и достигает 5–7%.

Следует отметить, что согласно нормативной документации, провода марки АС разрешено эксплуатировать при температуре провода до 80–90 °С, в то время, как производитель проводов марки АСВТ заявляет допустимой температуру $t_{пр}$ в 150 °С.

На рисунке 4 представлена зависимость допустимой токовой нагрузки от температуры воздуха при скорости ветра 1,2 м/с для проводов АС и АСВТ в условиях максимальной для них температуры эксплуатации 80°С и 150°С соответственно. При одинаковом диаметре длительно допустимый ток для высокотемпературного провода на 30-35 % превышает значение для стандартного провода. Данная характеристика позволяет использовать инновационный провод в случаях, когда необходимо существенно повысить токовые нагрузки на линии электропередач не увеличивая сечения, а также в районах с высокими температурами окружающей среды.

Оценка влияния пластической деформации сталеалюминевых проводов АСВТ на снижение величины намагничивания внутри проволок и сокращение тепловыделения от стального сердечника при эксплуатации ВЛ-110

Под действием внешнего магнитного поля магнитные моменты молекулярных токов приобретают в большей или меньшей степени преимущественную ориентацию по направлению поля, либо против его направления (ферромагнетики и диамагнетики). В результате чего, суммарный момент молекулярных токов становится отличным от нуля и тело становится намагниченным. Мерой намагниченности вещества является векторная величина, равная сумме магнитных моментов молекулярных токов, заключенных в единице объема вещества:

$$\vec{J} = \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^n \vec{p}_{mi}, \quad (1)$$

где \vec{p}_{mi} - магнитный момент i -го молекулярного тока.

$$\vec{p}_{mi} = IS, \quad (2)$$

где S – поперечное сечение проводника, m^2 ; I – ток в проводнике.

Намагниченность связана с магнитной индукцией \vec{B} в веществе и напряженностью магнитного поля \vec{H} соотношением

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J} \quad (3)$$

В изотропной среде

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0} - \vec{J} \quad (4)$$

$$\vec{J} = \chi \cdot \vec{H} \quad (5)$$

$$\chi = \mu - 1 \quad (6)$$

где χ - относительная магнитная восприимчивость вещества; μ - относительная магнитная проницаемость вещества.

Согласно теореме о циркуляции вектора \vec{H} , циркуляция вектора напряженности магнитного поля по некоторому контуру равна алгебраической сумме макротокков, охватываемых этим контуром:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \sum_{i=1}^n I_i^{\text{макро}} \quad (7)$$

или

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{j}_{\text{макро}}, \quad (8)$$

где $\vec{j}_{\text{макро}}$ - плотность макроскопических токов

$$\vec{j}_{\text{макро}} = \frac{\vec{I}_{\text{макро}}}{S} \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n I_i^{\text{макро}} = \frac{I}{\pi R^2} \cdot \pi r^2, \text{ при } r < R \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n I_i^{\text{макро}} = I, \text{ при } r > R \quad (11)$$

Следовательно,

$$H = \frac{Ir}{2\pi R^2}, \text{ при } r < R \quad (12)$$

$$H = \frac{I}{2\pi r}, \text{ при } r > R \quad (13)$$

Тогда, величина магнитной индукции равна соответственно:

$$B = \mu\mu_0 H = \mu\mu_0 \frac{Ir}{2\pi R^2}, \text{ при } r < R \quad (14)$$

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi r}, \text{ при } r > R \quad (15)$$

Объемная плотность энергии

$$w = \frac{B^2}{2\mu_0} = \frac{\mu_0 I^2}{8\pi^2 r^2} = \frac{dW}{dV} = \frac{\Delta W}{\Delta V} = \frac{\Delta W}{\Delta S \cdot l} \quad (16)$$

Энергия магнитного поля

$$W = \int_V w dV = \int_V \frac{B^2}{2\mu_0} dV = \int_V \frac{BH}{2} dV \quad (17)$$

Для оценки намагниченности в проводе АСВТ относительно стандартного АС были рассмотрены несколько вариантов. Марки проводов подбирались с близкими по значению допустимыми токами. Основные характеристики данных проводов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики сравниваемых проводов

Номинальное сечение, мм ²	Диаметр провода, мм	Стальной сердечник		Алюминиевая часть провода		Токковая нагрузка, А
		Число проволок	Диаметр проволок, мм	Число проволок	Диаметр проволок, мм	
АС 205/27	19,80	7	2,20	24	3,30	541,7 А
АС 240/39	21,60	7	2,65	26	3,40	610,0 А
АСВТ 128/36	15,20	1	2,70	14	1,95	690,1 А
		6	2,55	14	2,80	

Изменение величины намагниченности для пары проводника АСВТ и АС определим по формуле

$$\Delta J = \frac{\mu_0 I^3}{4\pi \Delta W}, \quad (18)$$

где ΔW - изменение энергии магнитного поля, Дж

$$\Delta W = V \Delta \omega \quad (19)$$

$$\Delta \omega = \frac{(B_{AC})^2 - (B_{ACBT})^2}{2\mu_0} \quad (20)$$

В ходе расчётов установлено, что с увеличением токовой нагрузки в электросети, изменение намагниченности в проводе возрастает. На рисунке 5 представлен график изменения намагниченности в проводе АСВТ 128/36 относительно провода АС 205/27 и АС 240/32.

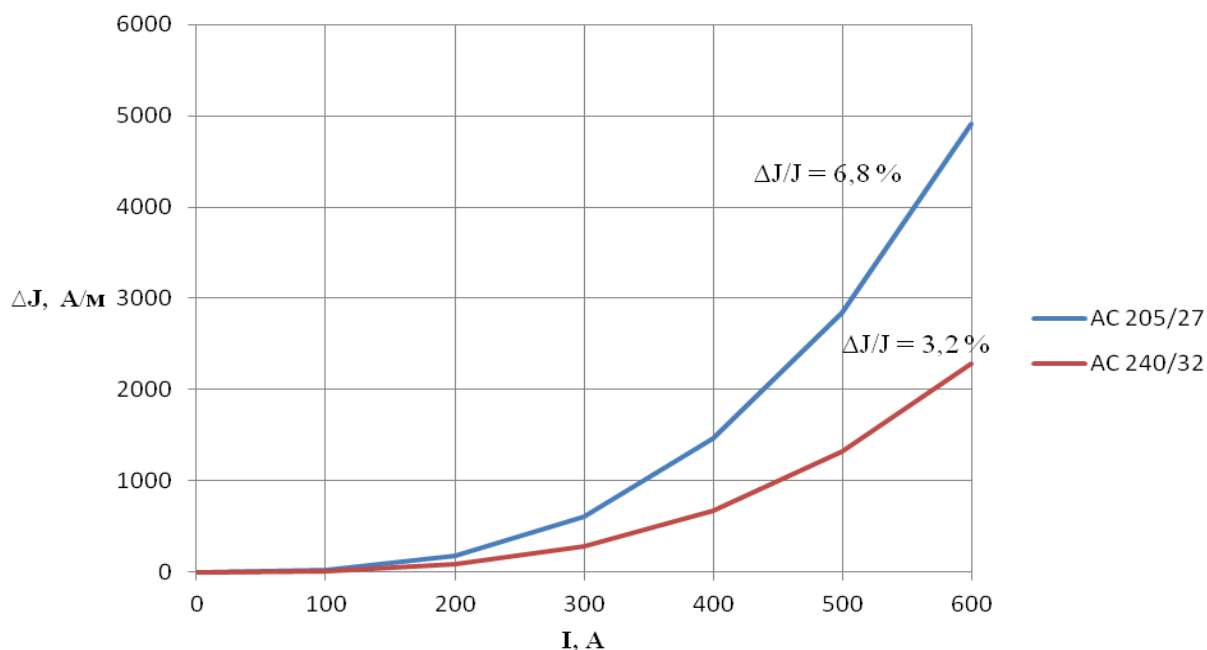


Рисунок 5 – Изменение намагниченности в проводе АСВТ 128/36 относительно провода АС 205/27 и АС 240/32

Относительное снижение намагниченности высокотемпературного провода АСВТ в сравнении с проводом АС составляет 3-7 % для различных вариантов.

Заключение

В результате численных экспериментов проведено исследование эффективности применения современных высокотемпературных проводов марки АСВТ в электросетевом комплексе, получены данные по предельным нагрузкам, сокращении тепловыделения и намагниченности в процессе эксплуатации.

Относительное снижение намагниченности высокотемпературного провода АСВТ в сравнении с проводом АС составляет 3-7 %.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о применимости инновационных высокотемпературных проводов в случаях, когда необходимо существенно повысить токовые нагрузки на линии электропередач не увеличивая сечения, а также в районах с высокими температурами окружающей среды.

Экономический эффект от применения проводов АСВТ при реконструкции электрических сетей напряжением 110 кВ достигается за счет снижения потерь на намагничивание и перегревание провода, а также увеличения пропускной способности сети и повышения надежности электроснабжения. Учитывая тот факт, что существующие на данный момент ЛЭП находятся в эксплуатации более 25-40 лет и исчерпали свой ресурс, замена их на новые крайне необходима. В расчёте на 1 км провода сети 110 кВ для Волгоградской области дисконтированный срок окупаемости замены стандартного провода не превышает 5 лет.

Литература

1. Фокин В.А., Власов А.К., Фролов В.И. Несущий трос контактной сети железной дороги // Патент России № 2509666. 2014. Бюл. №8.
2. РД34.20.547 (МТ 34-70-037-87) Методика расчета предельных токовых нагрузок по условиям нагрева проводов для действующих линий электропередачи.
3. Патент на полезную модель №132241 РФ. Сталеалюминевый провод для воздушной линии электропередачи. / В.А. Фокин. – Оpubл. 10.09.2013.
4. Гуревич Л. и др., Моделирование электромагнитных потерь в сталеалюминевых проводах различной конструкции // Электроэнергия. Передача и распределение. №5 (26) сентябрь-октябрь 2014. С: 72-75.
5. *Kuryanov V.N., Sultanov M.M., Fokin V.A.* INNOVATIVE HIGH-EFFICIENCY WIRES OF ENERGY GRIDS POWER TRANSMISSION LINES Энергия единой сети. 2016. № Special Issue. С. 96-103.
6. Швец Е.С., Донец Т.А., Курьянов В.Н., Исследование эффективности практического применения инновационных проводов для воздушных линий электропередач 110 кВ // Электроэнергетика глазами молодежи: VII Международная научно-техническая конференция, Казань, 2016.
7. *Курьянов В.Н., Султанов М.М., Фокин В.А., Тимашова Л.В.*, ИННОВАЦИОННЫЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ПРОВОДА ДЛЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, Энергия единой сети. 2016. № 4 (27). С. 70-78.