

Оценка эффективности применения высокотемпературных проводов для воздушных линий электропередачи

А. П. Вихарев

кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетических систем,
Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: usr00061@vyatsu.ru

Аннотация. Высокотемпературные неизолированные провода имеют более высокие, по сравнению со стандартными сталеалюминиевыми проводами, значения длительно допустимой температуры и пропускной способности. Применение таких проводов при реконструкции воздушных ЛЭП позволяет получить значительную экономию инвестиций. При этом часто не учитывают увеличение потерь электроэнергии в ЛЭП. В статье на примере воздушной ЛЭП показано, что не учет затрат на возмещение потерь электроэнергии может привести к выбору неоптимального варианта реконструкции. Материал статьи может быть использован при разработке проектов строительства и реконструкции воздушных ЛЭП с применением высокотемпературных проводов.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, высокотемпературные провода, реконструкция, потери электроэнергии, дисконтированные издержки.

Одним из инновационных решений, обеспечивающих более надежную работу электрических сетей при растущем энергопотреблении, является использование новых марок неизолированных проводов для высоковольтных воздушных линий электропередачи (ЛЭП). Российскими компаниями (ООО «ЭМ-КАБЕЛЬ», ОАО «Кирскабель» и др.) и зарубежными фирмами («ЗМ» США, «Lumpri-Berndorf» Австрия, «Lamifil» Бельгия, «J-Power Systems» Япония) разработаны и производятся высокотемпературные неизолированные провода. Особенностью таких проводов является более высокое, по сравнению со стандартными сталеалюминиевыми проводами, значение длительно допустимой температуры. Если для обычных сталеалюминиевых проводов длительно допустимая температура составляет $+70^{\circ}\text{C}$, то для высокотемпературных проводов она может составлять от $+150^{\circ}\text{C}$ до $+250^{\circ}\text{C}$. При этом сохраняется их механическая прочность. Такой эффект создается за счет добавления к алюминию небольшого количества циркония (рис. 1). Преимуществом указанных проводов является то, что при одинаковых физико-механических характеристиках, они имеют более высокую (в 1,5...3,0 раза) пропускную способность, чем стандартные сталеалюминиевые провода. Высокотемпературные провода могут применяться как при строительстве новых ЛЭП в сетях с большими сезонными нагрузками, так и при реконструкции старых ЛЭП, пропускная способность которых не обеспечивает растущий спрос потребителей.



Рис. 1. Разрез высокотемпературного провода

При выборе варианта реконструкции ЛЭП с применением высокотемпературных проводов в первую очередь учитывают капиталовложения (инвестиции) в проект. За счет большой пропускной способности таких проводов появляется возможность максимально использовать существующие конструкции ЛЭП. В результате можно получить значительную экономию капиталовложений. Но при таком подходе не учитываются потери электроэнергии в ЛЭП (имеющие место в течение всего

срока ее эксплуатации) и затраты на возмещение этих потерь, что может привести к выбору неоптимального варианта реконструкции. Цель данной статьи заключается в том, чтобы показать необходимость учета затрат на возмещение потерь электроэнергии при выборе варианта реконструкции ЛЭП с использованием высокотемпературных проводов.

Теоретическая часть. Сравнение различных инвестиционных проектов и выбор лучшего из них производится по критерию экономической эффективности. В качестве такого критерия можно использовать минимум дисконтированных издержек на реконструкцию и эксплуатацию ЛЭП.

$$Д.И. = \sum_{t=1}^{T_p} \frac{K_t}{(1+E)^t} + \sum_{t=1}^{T_p} \frac{I_{o.p.t} + I_{nom.t}}{(1+E)^t} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где K_t – капиталовложения на t -м шаге расчета, тыс. руб.;

$I_{o.p.t}$ – эксплуатационные издержки на текущий ремонт и обслуживание (без амортизации) на t -м шаге расчета, тыс. руб.;

$I_{nom.t}$ – издержки на возмещение потерь электроэнергии на t -м шаге расчета, тыс. руб.;

T_p – расчетный период, год;

t – шаг дисконтирования, год;

E – норма дисконта, о. е.

Издержки на текущий ремонт и обслуживание рассчитываются в процентах от величины капиталовложений

$$I_{o.p} = a_{o.p} \cdot K, \quad (2)$$

где $a_{o.p}$ – ежегодные отчисления на текущий ремонт и обслуживание, %.

Издержки на возмещение потерь электроэнергии определяются по формуле:

$$I_{nom} = \Delta \mathcal{E}_{nom} \cdot \mathcal{C}, \quad (3)$$

где $\Delta \mathcal{E}_{nom}$ – величина потерь электроэнергии в ЛЭП, кВт·час;

\mathcal{C} – удельная стоимость потерь электроэнергии, руб./кВт·час.

Удельная стоимость потерь электроэнергии может быть принята равной ставке тарифа по передаче электроэнергии, используемой для определения расходов на оплату потерь электроэнергии. По данным ОАО «Администратор торговой системы оптового рынка электроэнергии» среднее значение по России указанного тарифа составляет 2 руб./кВт·час. [1].

Предположим, что потребление электроэнергии в течение расчетного периода будет неизменным, а следовательно, ежегодные потери электроэнергии будут одинаковыми. Потери электроэнергии в ЛЭП при неизвестном характере нагрузки можно определить по методу времени наибольших потерь [2]:

$$\Delta \mathcal{E}_{nom} = \Delta P_{max} \cdot \tau, \quad (4)$$

где ΔP_{max} – потери активной мощности в ЛЭП в режиме максимальных нагрузок, кВт; τ – время наибольших потерь, час.

Время наибольших потерь при расчете потерь за год определяется по формуле:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{max}}{10000}\right)^2 \cdot 8760, \quad (5)$$

где T_{max} – средневзвешенное время использования максимальной нагрузки потребителями, питающимися по реконструируемой ЛЭП, час.

Потери активной мощности в режиме максимальных нагрузок определяются по формуле:

$$\Delta P_{max} = 3 \cdot I_l^2 \cdot r_l \cdot l_l \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

где I_l – электрический ток в ЛЭП в режиме максимальных нагрузок, А;

r_l – погонное активное сопротивление проводов, Ом/км;

l_l – длина ЛЭП, км.

Оптимальным будет являться тот вариант реконструкции ЛЭП, который будет иметь наименьшие дисконтированные издержки.

Пример расчета. В качестве примера рассмотрим случай, описанный в статье [3]. В ней рассматривается реконструкция воздушной ЛЭП напряжением 35 кВ, длиной 7,292 км. Реконструкция производится с целью увеличения пропускной способности ЛЭП до 500 А. В исходном варианте линия выполнена двумя марками проводов АС 70/11 и М 70 на опорах АМ и ПБ.

Рассматриваются два варианта реконструкции. Первый вариант предусматривает замену существующих проводов на провода АС 185/24, выполненных по ГОСТ 839-80. В этом случае необходимо демонтировать все существующие провода и опоры вместе с фундаментами, поскольку они не смогут выдержать увеличившиеся нагрузки от веса новых проводов и воздействий ветра и гололеда. Затем необходимо выполнить монтаж новых анкерных и промежуточных многогранных опор и монтаж проводов АС 185/24.

Второй вариант предусматривает применение высокотемпературных проводов марки АСПТ 70/11 (технические характеристики проводов приведены в табл. 1 [3]). В этом случае необходимо выполнить демонтаж существующих проводов и только анкерных опор с фундаментами. Промежуточные опоры можно оставить от существующей ЛЭП, поскольку на них будет монтироваться провод того же сечения, поэтому нагрузка не увеличится.

Таблица 1

Технические характеристики проводов АС 185/24 и АСПТ 70/11

Характеристика	Провод	
	АС 185/24	АСПТ 70/11
Диаметр, мм	18,9	11,4
Сечение, мм ²	187/24,9	68/11
Сопротивление, Ом/км	0,154	0,4158
Разрывное усилие, кН	58,08	31,6
Масса, кг	705	258
Допустимая температура, °С	80	150
Длительно допустимый ток, А	520	596
Стоимость 1 км провода, тыс. руб.	87,3	87,5

Капиталовложения в реконструкцию ЛЭП без учета затрат на работы по рекультивации земель, очистку просеки, устройства подъездов и прочее составили: для первого варианта реконструкции (провод АС 185/24) – 26367,167 тыс. руб.; для второго варианта реконструкции (высокотемпературный провод АСПТ 70/11) – 8465,75 тыс. руб.

В заключении статьи [3] делается вывод о том, что применение высокотемпературных проводов позволило увеличить пропускную способность ЛЭП и сэкономить 17901,417 тыс. руб.

Выполним сравнение рассмотренных вариантов реконструкции по критерию дисконтированных издержек, рассчитав их по вышеприведенной методике. При выполнении расчетов приняты следующие данные:

- шаг дисконтирования – 1 год;
- расчетный период – 10 лет;
- норма дисконта – 0,1 [4];
- ежегодные отчисления на обслуживание и текущий ремонт ЛЭП – 0,8% [4];
- средневзвешенное время использования максимальной нагрузки – 4000 часов;
- электрический ток в режиме максимальных нагрузок – 500 А.

Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов дисконтированных издержек

Расчетная величина	Вариант 1	Вариант 2
ΔP_{max} , кВт (ф. 6)	842,2	2288,8
τ , час (ф. 5)	2405	2405
$\Delta \mathcal{E}_{nom}$, кВт·час (ф. 4)	2025491	5504564
I_{nom} , тыс. руб./год (ф. 3)	4050,98	11009,13
$I_{o.p}$, тыс. руб./год (ф. 2)	210,94	67,73
K , тыс. руб. [3]	26367,17	8465,75
$Д.И.$, тыс. руб. (ф. 1)	52560,93	76544,13

Результаты расчетов показывают, что при принятых значениях исходных данных, на горизонте 10 лет, с учетом затрат на возмещение потерь электроэнергии в ЛЭП, минимум дисконтированных затрат имеет первый вариант реконструкции с заменой всех опор и использованием стандартных проводов АС 185/24. Второй вариант реконструкции с сохранением существующих опор и использованием высокотемпературных проводов АСПТ 70/11 имеет дисконтированные издержки на 45% больше, чем первый вариант. При более длительном периоде эксплуатации ЛЭП эта разность будет увеличиваться за счет роста тарифа на оплату потерь электроэнергии.

Выводы. При выборе оптимального варианта реконструкции ЛЭП с применением высокотемпературных проводов необходимо учитывать не только капиталовложения, но и затраты на компенсацию потерь электроэнергии в ЛЭП. Увеличение пропускной способности таких проводов за счет более высокой длительно допустимой температуры приводит к значительному росту потерь электроэнергии в ЛЭП. Увеличение потерь электроэнергии может быть настолько большим, что вызовет затраты, значительно превосходящие экономию капиталовложений на реконструкцию.

Список литературы

1. Открытое акционерное общество «Администратор торговой системы оптового рынка электроэнергии». URL: <https://www.atsenergo.ru/nreport?fid=4F53031BE759001AE0530A4900476190>
2. Идельчик В. И. Электрические системы и сети : учебник для вузов / В. И. Идельчик. М. : Энергоатомиздат, 1989. 592 с.
3. Зотов Д. Линии электропередачи. Повышение передаваемой мощности / Д. Зотов // Новости электротехники. 2015. № 2. С. 42–44.
4. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. 3-е изд., перераб. и доп. М. : ЭНАС, 2009. 392 с.

Evaluation of the effectiveness of high-temperature wires for overhead power lines

A. P. Vikharev

PhD of technical sciences, associate professor of the Department of electric power systems, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: usr00061@vyatsu.ru

Abstract. High-temperature non-insulated wires have higher values of long-term permissible temperature and carrying capacity compared to standard steel-aluminum wires. The use of such wires in the reconstruction of overhead power lines allows to obtain significant investment savings. At the same time, they often do not take into account the increase in power losses in power lines. In the article on the example of air power lines it is shown that neglecting the costs of compensation for electricity losses can lead to the choice of suboptimal reconstruction option. The material of the article can be used in the development of projects of construction and reconstruction of overhead power lines using high-temperature wires.

Keywords: overhead power lines, high-temperature wires, reconstruction, power losses, discounted costs.

References

1. Open joint stock company "Administrator of the wholesale electricity market trading system". Available at: <https://www.atsenergo.ru/nreport?fid=4F53031BE759001AE0530A4900476190>
2. *Idel'chik V. I. Elektricheskie sistemy i seti : uchebnik dlya vuzov* [Electrical systems and networks: textbook for universities] / V. I. Idelchik. M. Energoatomizdat. 1989. 592 p.
3. *Zotov D. Linii elektroperedachi. Povyshenie peredavaemoj moshchnosti* [Power lines. The increase in the transmission power] / D. Zotov // *Novosti elektrotehniki* – News of electrical engineering. 2015, No. 2, pp. 42–44.
4. *Spravochnik po proektirovaniyu elektricheskikh setej* – Reference book on the design of electrical networks / ed. D. L. Faibisovich. 3d publ., rev. and add. M. ENAS. 2009. 392 p.