

УДК 621.315.1

*А. П. Вихарев, А. В. Вильнер, Н. Г. Репкина*

## **ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И ПАДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ВОЗДУШНЫХ ЛЭП С ЗАЩИЩЁННЫМИ ПРОВОДАМИ**

В настоящее время при строительстве и реконструкции воздушных линий электропередачи напряжением 6...35 кВ широкое распространение получили защищённые провода. Наличие изоляции позволяет сблизить фазные провода и уменьшить габариты линии электропередачи. Актуальность исследования обусловлена тем, что изменение конструкции проводов и их сближения приводит к изменению параметров линий электропередачи с защищенными проводами по сравнению с линиями, выполненными неизолированными проводами. Поэтому целью исследования является сравнительный анализ сопротивлений, потерь мощности и падения напряжения в линиях электропередачи с защищёнными и неизолированными проводами. Ведущим методом исследования является аналитический метод, с помощью которого выполнены расчеты. Материалы статьи можно использовать при проектировании и реконструкции воздушных линий электропередачи, выполненных защищенными проводами.

*Ключевые слова:* воздушные ЛЭП, защищенные провода, потери мощности, падение напряжения.

В настоящее время при строительстве и реконструкции воздушных ЛЭП напряжением 6...35 кВ широкое распространение получили защищённые провода, обладающие рядом эксплуатационных преимуществ по сравнению с неизолированными проводами. Протяжённость воздушных ЛЭП с защищёнными проводами (ВЛЗ) составляет более 150 тыс. км. и с каждым годом увеличивается. Положительный опыт эксплуатации ВЛЗ позволил разработать защищённые провода на напряжение 110 кВ (СИП-7) [4].

Токоведущая жила защищённого провода выполнена уплотнённой, скрученной из нескольких проволок, изготовленных из термостойкого алюминиевого

сплава. Поверх токоведущей жилы располагаются слои изоляционного материала. Для проводов напряжением 6, 10 кВ – один слой, для проводов напряжением 35 кВ – два слоя, для проводов напряжением 110 кВ – три слоя. Конструкция защищённого провода на 35 кВ приведена на рис. 1.

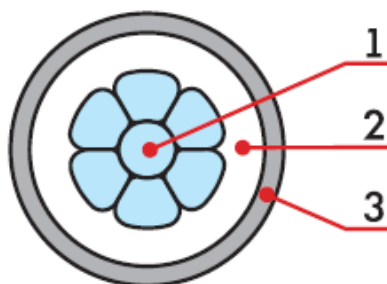


Рис. 1. Конструкция защищённого провода ПЗВ

1 – уплотнённая жила из проволочек алюминиевого сплава, герметизированная водоблокирующими нитями; 2 – слой из изоляционного шитого полиэтилена; 3 – защитная изоляция из атмосферостойкого шитого полиэтилена.

Основным преимуществом ВЛЗ является исключение коротких замыканий между фазными проводами при схлёстывании, касании траверс, стоек опор, деревьев. Это позволяет сблизить фазные провода и уменьшить габариты ЛЭП и расходы на прокладку трассы. Кроме того повышается безопасность эксплуатации ВЛЗ по сравнению с традиционными ЛЭП.

Изменение конструкции проводов и их сближения приводит к изменению параметров ВЛЗ по сравнению с ЛЭП, выполненными неизолированными проводами. Например, в работе [5, стр. 17] отмечается, что реактивное сопротивление ВЛЗ уменьшается в три раза по сравнению с неизолированными проводами. В результате чего значительно повышаются показатели качества электроэнергии. Это утверждение вызывает сомнения, поэтому данная статья посвящена сравнительному анализу сопротивлений, потерь мощности и падения напряжения в ЛЭП с защищёнными и неизолированными проводами.

*Анализ погонных сопротивлений.* Погонные активные сопротивления для неизолированных сталеалюминиевых проводов приведены в ГОСТ 839-80 [2], а

для защищённых проводов в ГОСТ Р52373-2005 [3] (табл. 1). Анализ данных, приведённых в таблице 1, показывает, что у защищённых проводов активное сопротивление больше, чем у неизолированных. Это вызвано тем, что термостойкий сплав, из которого изготовлены защищённые провода, имеет большее удельное сопротивление. Отличие активных сопротивлений меняется в зависимости от величины сечения провода. Наибольшая разница для сечения 35 мм<sup>2</sup> составляет 26.9%, а наименьшая – для сечения 150 мм<sup>2</sup>. составляет 15.1%.

Таблица 1

### Погонные сопротивления проводов

Номинальное сечение провода, мм <sup>2</sup>	$r_0$ , Ом/км		$x_0$ , Ом/км (10 кВ)		$x_0$ , Ом/км (35 кВ)		$x_0$ , Ом/км (110 кВ)	
	АС	ЗП	АС	ЗП	АС	ЗП	АС	ЗП
35/6.2	0.777	0.986	0.358	0.327	–	–	–	–
50/8.0	0.595	0.720	0.350	0.317	–	–	–	–
70/11	0.422	0.493	0.339	0.306	0.432	0.331	0.444	0.392
95/16	0.300	0.363	0.328	0.290	0.421	0.316	0.434	0.376
120/19	0.244	0.288	–	–	0.414	0.313	0.427	0.375
150/19	0.205	0.236	–	–	0.406	0.308	0.420	0.368
185/24	0.154	0.188	–	–	–	–	0.413	0.361
240/32	0.118	0.145	–	–	–	–	0.405	0.353

Погонное реактивное сопротивление проводов воздушных ЛЭП зависит от взаимного расположения на опоре и может быть рассчитано по известной формуле

$$x_0 = 0.144 \cdot \lg\left(\frac{D_{\text{ср}}}{r_{\text{пр}}}\right) + 0.0157, \quad (1)$$

где  $D_{\text{ср}}$  – среднегеометрическое расстояние между проводами, см;

$r_{\text{пр}}$  – радиус провода, см.

При выполнении расчётов расстояние между фазными проводами ВЛЗ напряжением 10 кВ принималось равным 0.4 м, а напряжением 35 кВ – 0.6 м. Радиусы проводов определялись по стандартам [2,3]. Для воздушных ЛЭП с неизолированными проводами рассматривалось расположение проводов на унифицированных опорах. В настоящее время в России отсутствуют нормативы на выполнение ВЛЗ напряжением 110 кВ. Согласно выводам, сделанным в работе [1], с учётом опыта сооружения таких линий в странах северной Европы, междуфазное расстояние ВЛЗ 110 кВ можно принять равным 200 см при расположении проводов в вершинах равностороннего треугольника. Результаты расчётов погонных реактивных сопротивлений для воздушных ЛЭП с защищёнными и неизолированными проводами приведены в табл.1.

Анализ результатов расчётов показывает, что погонное реактивное сопротивление проводов ВЛЗ меньше, чем линий с неизолированными проводами. Для ВЛЗ напряжением 10 кВ снижение сопротивления составляет в среднем 10%, для ВЛЗ напряжением 35 кВ – 24%, а для ВЛЗ напряжением 110 кВ – 12%.

*Анализ потерь мощности.* Потери активной мощности в ЛЭП зависят от тока и активного сопротивления линии и могут быть определены по известной формуле

$$\Delta P_l = 3 \cdot I_l^2 \cdot r_l. \quad (2)$$

Зависимости потерь активной мощности (на один км) от тока в ЛЭП напряжением 35 кВ и сечением 95 мм<sup>2</sup> приведены на рис. 2. Поскольку активное сопротивление ВЛЗ больше, чем у линии с неизолированными проводами, то и потери активной мощности так же будут больше: для ВЛЗ напряжением 35 кВ на (15...21)%, для ВЛЗ напряжением 110 кВ – на (15...23)%.

Потери реактивной мощности в ЛЭП зависят от тока и реактивного сопротивления линии и могут быть рассчитаны по известной формуле

$$\Delta Q_l = 3 \cdot I_l^2 \cdot x_l. \quad (3)$$

Зависимости потерь реактивной мощности (на один км) от тока в ЛЭП напряжением 35 кВ и сечением 95 мм<sup>2</sup> приведены на рис. 3. Поскольку реактивное сопротивление ВЛЗ меньше, чем у линии с неизолированными проводами, то и потери реактивной мощности так же будут меньше: для ВЛЗ напряжением 35 кВ на (23...25)%, для ВЛЗ напряжением 110 кВ – на (12...13)%.

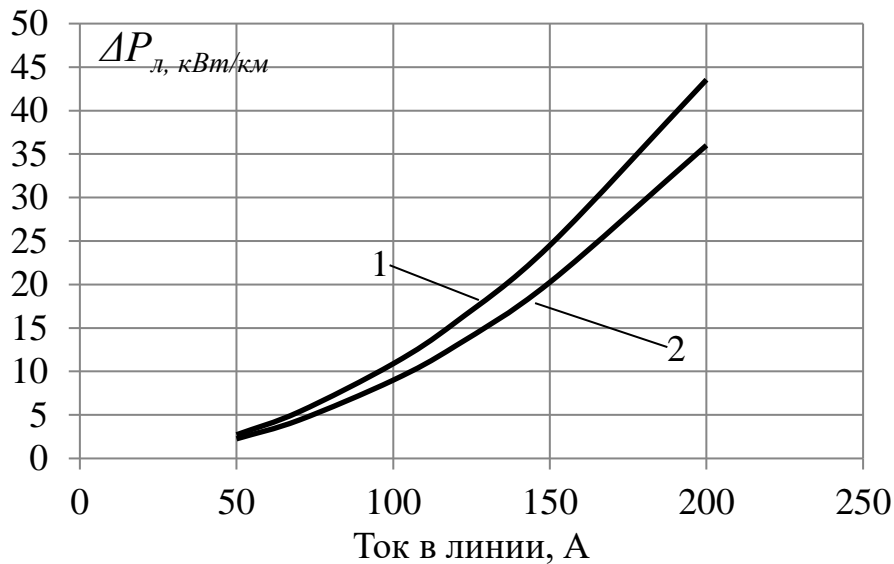


Рис. 2. Зависимости потерь активной мощности от тока в ЛЭП напряжением 35 кВ, сечением 95 мм<sup>2</sup>

1 – защищённые провода; 2 – неизолированные провода

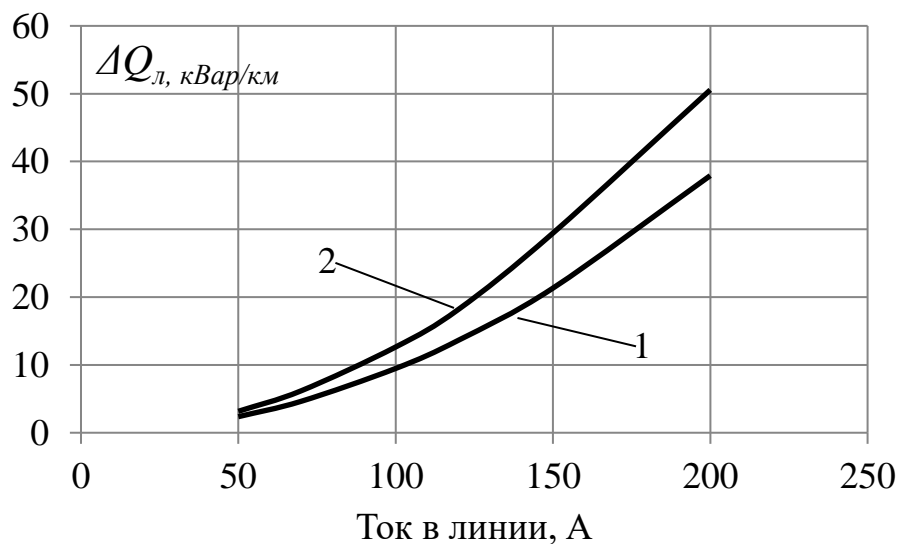


Рис. 3. Зависимости потерь реактивной мощности от тока в ЛЭП напряжением 35 кВ, сечением 95 мм<sup>2</sup>

1 – защищённые провода; 2 – неизолированные провода

*Анализ падения напряжения.* Падение напряжения в ЛЭП зависит от тока и полного сопротивления линии и может быть рассчитано по известной формуле

$$\Delta U_{л} = \sqrt{3} \cdot I_{л} \cdot z_{л} = \sqrt{3} \cdot I_{л} \cdot (r_{л} + j \cdot x_{л}). \quad (4)$$

Зависимости падения напряжения (на один км) от тока в ЛЭП напряжением 110 кВ и сечением 240 мм<sup>2</sup> приведены на рис. 4. Анализ результатов расчётов показывает, что падение напряжения ВЛЗ меньше, чем у линий с неизолированными проводами: для ВЛЗ напряжением 35 кВ на (6...7)%, а для ВЛЗ напряжением 110 кВ – (9...10)%.

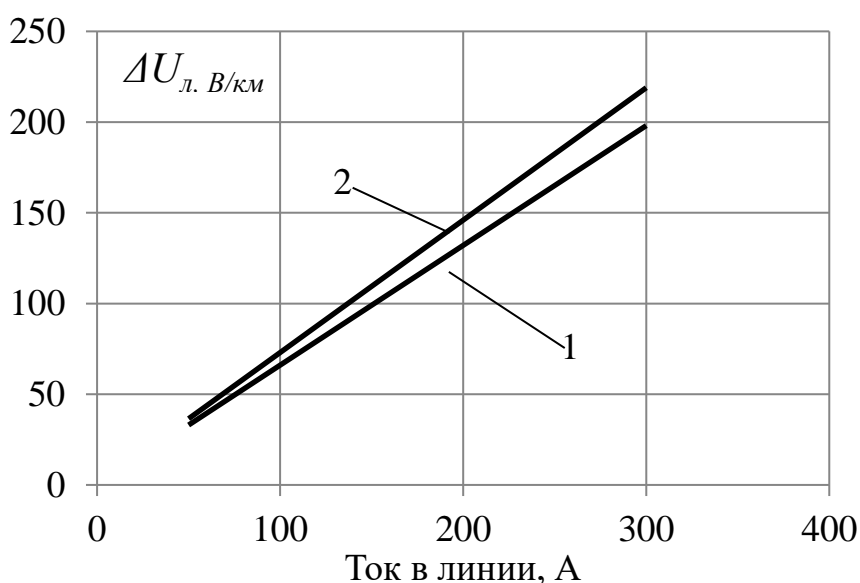


Рис. 4. Зависимости падения напряжения от тока в ЛЭП напряжением 110 кВ, сечением 240 мм<sup>2</sup>

1 – защищённые провода; 2 – неизолированные провода

*Выводы.* 1. Потери активной мощности в ВЛЗ увеличиваются по сравнению ЛЭП с неизолированными проводами;

2. Потери реактивной мощности в ВЛЗ уменьшаются по сравнению ЛЭП с неизолированными проводами;

3. Падение напряжения в ВЛЗ незначительно уменьшается по сравнению ЛЭП с неизолированными проводами.

**Список литературы**

1. Вихарев А. П. Электромагнитная обстановка вблизи воздушных ЛЭП 110 кВ с защищенными проводами // Электрические станции. 2016. № 12. С. 41–44.
2. ГОСТ 839-80 Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200008421> (дата обращения 9.01.2017).
3. ГОСТ Р 52373-2005 Провода самонесущие изолированные и защищенные для воздушных линий электропередачи. Общие технические условия. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-52373-2005> (дата обращения 9. 01.2017)
4. Провод с защитной изоляцией для воздушных линий электропередачи на напряжение 110 кВ. СИП-7. URL: <http://sevcable.ru/catalog/mark?id=1331&categoryId=303> (дата обращения 9.01.2017).
5. Соловьев Ю. В. Контроль технического состояния защищенных проводов линий электропередачи в условиях комплексного воздействия эксплуатационных факторов: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2015. URL: [http://www.spmi.ru/system/files/lib/sci/aspirant-doc-torant/avtoreferaty/2015/2015-1/dissertaciya\\_solovev.pdf](http://www.spmi.ru/system/files/lib/sci/aspirant-doc-torant/avtoreferaty/2015/2015-1/dissertaciya_solovev.pdf) (дата обращения 16.08.2016).

**ВИХАРЕВ Александр Павлович** – кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетических систем, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: [usr00061@vyatsu.ru](mailto:usr00061@vyatsu.ru)

**ВИЛЬНЕР Александр Викторович** – кандидат технических наук, заведующий кафедрой электроэнергетических систем, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: [vilner@vyatsu.ru](mailto:vilner@vyatsu.ru)

**РЕПКИНА Наталия Геннадьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетических систем, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: [usr00353@vyatsu.ru](mailto:usr00353@vyatsu.ru)