

# ПРОВОДА ИЗОЛИРОВАННЫЕ И ЗАЩИЩЕННЫЕ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА\*

*М.К. Каменский, канд. техн. наук, зав. лабораторией;  
Г.И. Мещанов, канд. техн. наук, генеральный директор;  
Ю.В. Образцов, канд. техн. наук, зав. отделом;  
ОАО «ВНИИКП»*

В период электрификации промышленных и сельских районов страны, который закончился в 70-х годах прошлого столетия, в России создана разветвленная сеть воздушных линий электропередачи (ВЛ). Протяженность ВЛ в распределительных сетях на напряжение 0,4 и 10–35 кВ, по данным Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы России (ФСК ЕЭС), составляет более 2 млн км.

Учитывая, что значительная часть этих ВЛ эксплуатируется фактически за пределами нормативного срока службы, и принимая во внимание, что «Правила устройства электроустановок» (ПУЭ, седьмое издание) ориентируют на применение изолированных и защищенных проводов при сооружении новых ВЛ, в России сложились объективные условия для развития промышленного производства нового перспективного вида кабельной продукции – самонесущих изолированных (СИП) и защищенных (ПЗВ) проводов.

Применение этих типов проводов при сооружении воздушных линий изолированных (ВЛИ) и воздушных защищенных линий передачи (ВЗ) позволит в значительной мере повысить надежность и экономичность электроснабжения потребителей. Основные преимущ-

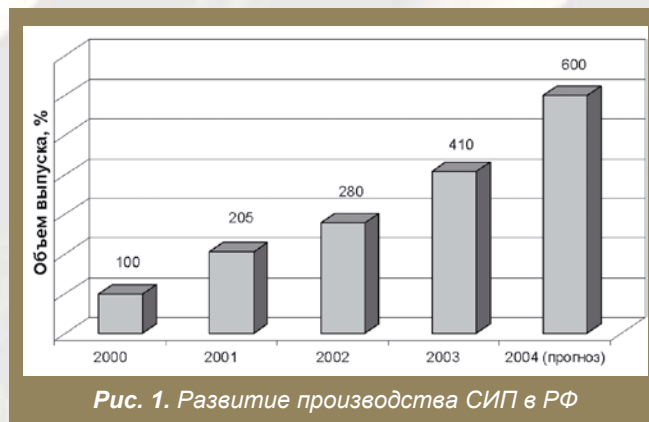


Рис. 1. Развитие производства СИП в РФ

щества ВЛИ с применением изолированных и защищенных проводов представлены в табл. 1.

Освоение промышленного производства современных конструкций СИП начато в России в 1987 году. Темпы роста объемов производства изолированных и защищенных проводов отечественными кабельными заводами, представленные на рис. 1, составляют примерно 150–180% в год. Это свидетельствует об интенсивно развивающемся внутреннем рынке этого вида кабельной продукции.

Таблица 1

## Основные преимущества ВЛИ с применением СИП

Преимущества ВЛИ	Чем обусловлены
Высокая электробезопасность	Отсутствие возможности прямого контакта с токопроводящими элементами. Исключение однофазных замыканий на землю. Исключение обрывов проводов при атмосферных воздействиях (гололед, ветровые нагрузки) и падениях деревьев.
Высокая эксплуатационная надежность	Исключение коротких замыканий при соприкосновении проводов и контактах с заземленными элементами (строительные механизмы, ветки деревьев).
Снижение трудоемкости при монтаже линий	Простое конструктивное исполнение ВЛИ. Высокая монтажная готовность с учетом применения комплекта арматуры и монтажного инструмента. Увеличение расстояния между опорами.
Снижение эксплуатационных затрат	Отсутствие необходимости перемонтажа для устранения увеличения провиса, расчистки трасс, замены изоляторов. Снижение перерывов в обеспечении электроснабжения потребителей. Возможность технического обслуживания и ремонта ВЛИ под напряжением.
Уменьшение падения напряжения, снижение потерь электроэнергии	Низкое индуктивное сопротивление (в 2,5–3 раза) по сравнению с традиционными ВЛ.

\* По материалам технического симпозиума общего собрания Ассоциации «Интеркабель».

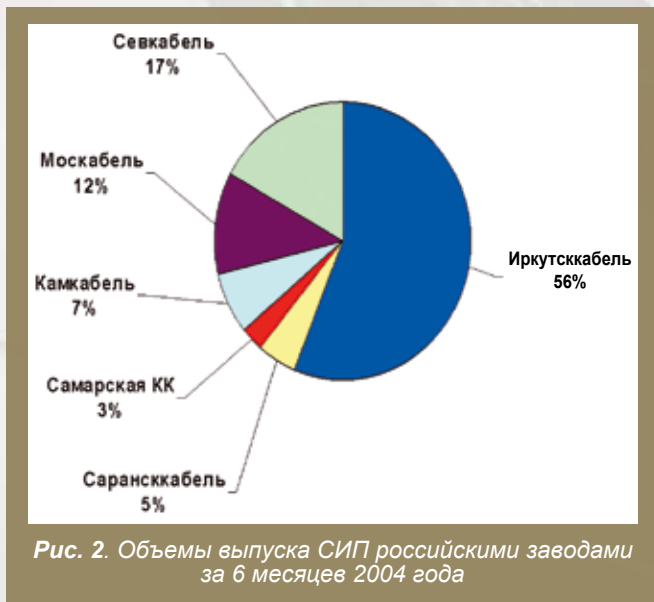


Рис. 2. Объемы выпуска СИП российскими заводами за 6 месяцев 2004 года

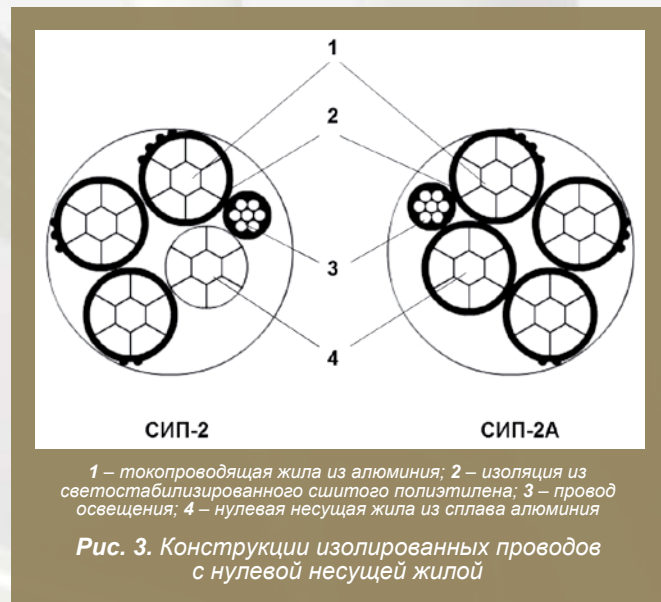


Рис. 3. Конструкции изолированных проводов с нулевой несущей жилой

Анализ объемов реализации продукции основными российскими производителями и зарубежными поставщиками, присутствующими на российском рынке, показал, что в 2003 году этот объем составил 40 тыс. км в одножильном исполнении. Следует отметить, что объем продаж СИП в настоящее время ограничивается, с одной стороны, возможностями заводов, а с другой стороны, финансовыми ресурсами энергосистем, отпускаемыми на цели реконструкции ВЛ.

Основными производителями СИП в России являются предприятия, представленные на рис. 2, из которого видно, что по объему производства за I полугодие 2004 года лидирующее положение занимают заводы «Иркутскабель», «Севкабель» и «Москабель». При этом следует отметить, что в 2004 году в России производство изолированных проводов для ВЛИ уже осуществляют 10 кабельных заводов.

Зарубежный опыт применения изолированных проводов для ВЛИ показывает, что в настоящее время

получили распространение четыре типа проводов, конструктивное исполнение которых в европейских странах базируется на основе гармонизированных документов HD 626 S1, ч. 3–6 комитета CENELEC и национальных стандартов. Основные типы проводов представлены в табл. 2.

Конструктивное исполнение самонесущих изолированных проводов марок СИП-2 и СИП-2А, получивших наибольшее распространение в России, представлено на рис. 3.

Как видно на рис. 3, типовое конструктивное исполнение самонесущих изолированных проводов с изолированной несущей нулевой жилой состоит в том, что вокруг изолированной нулевой несущей жилы скручены основные изолированные провода и изолированные вспомогательные провода для цепей уличного освещения. Аналогом провода в России являются провода марок СИП-2А и СИП-2АФ, а также СИП-1А. Провод СИП-1А отличается тем, что его изоляция выполнена из светостабилизированного термопластичного полиэтилена (ПЭ),

Таблица 2

Основные типы изолированных и защищенных проводов

Тип провода	Обозначение провода российского производства	Базовый нормативный документ	Зарубежный аналог
Изолированные провода на 0,6/1 кВ с неизолированной нулевой несущей жилой	СИП-1	ТУ 16.К71-268-98	АМКА (Финляндия)
	СИП-2		АХКА (Финляндия)
Изолированные провода на 0,6/1 кВ с изолированной нулевой несущей жилой	СИП-1А	ТУ 16.К71-268-98	АМКА-Т (Финляндия)
	СИП-2А		Torsada (Франция)
	СИП-2АФ	ТУ 16.К22-019-2003	
Изолированные провода на 0,6/1 кВ без несущего элемента	СИП-4	ТУ 3553-015-05755714-2002	АЛУС (Швеция)
	СИПс-4		AsXS (Польша)
Защищенные провода для линий электропередачи на 10, 20 и 35 кВ	СИП-3	ТУ 16.К71-272-98	SAX (Финляндия)
	ПЗВ	ТУ 16.К10-017-2003	

Таблица 3

Основные характеристики проволоки из сплава алюминия

Наименование характеристики	Нормированная величина
Удельное электрическое сопротивление постоянному току при 20°C, Ом·мм <sup>2</sup> /м, не более	32,84
Прочность при растяжении, Н/мм <sup>2</sup> , не менее	295
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	4
Модуль упругости, Н/мм <sup>2</sup> , не менее	62·10 <sup>3</sup>
Коэффициент линейного расширения, °С <sup>-1</sup> , не более	23·10 <sup>-6</sup>

а у провода СИП-2А изоляция выполнена из сшитого ПЭ. Нулевая жила выполняет роль несущего элемента провода и служит нулевым рабочим (N), нулевым защитным (PE) или совмещенным (PEN) проводником. Конструкции СИП с изолированной нулевой несущей жилой получили широкое применение в Италии, Франции, Бельгии, Португалии, Испании, Греции, Израиле, России, Аргентине, Бразилии, Малайзии, Индонезии.

Изолированный провод с неизолированной несущей жилой получил распространение в Финляндии, Чехии, ЮАР, а также в России. Аналогом в России являются провода СИП-2 и СИП-1.

Провода изолированные без несущего элемента, в отличие от проводов с нулевой несущей жилой, представляют собой пучок изолированных алюминиевых проводов, скрученных в общий сердечник. Таким образом, при эксплуатации растягивающие усилия воспринимают все жилы. Конструкции изолированных проводов без несущего элемента получили развитие в Германии, Великобритании, Австрии, Польше, Швеции и Норвегии. С 2003 года наметилось практическое применение этих проводов и в России. Аналог российского производства – СИП-4 и СИПс-4.

Следует отметить, что из всех трех типов изолированных проводов требованиям по обеспечению надежности и безопасности электроснабжения в большей степени отвечает провод СИП-2А (аналог провода Torsada по NFC 33 209, Франция). Бла-

годаря наличию изолированной нулевой несущей жилы значительно снижается вероятность короткого замыкания на нулевой провод, повышается стойкость к воздействию коррозионно-активных сред и устойчивость к атмосферным перенапряжениям, а также имеется возможность осуществлять ответвления без отключения линии.

Четвертым типом проводов являются одножильные провода защищенные, у которых изоляционный слой поверх токопроводящей жилы выполняет роль защитной изоляции, благодаря которой возможно уменьшить расстояние между проводами на опорах воздушной линии защищенной (ВЛЗ) и снизить вероятность короткого замыкания на землю. Российские аналоги защищенных проводов – СИП-3 и ПЗВ. Эти провода предусмотрены для сооружения ВЛЗ на напряжение 10, 20 и 35 кВ.

Многообразие изолированных проводов на российском рынке, образовавшееся в результате различного подхода к выбору типов проводов в конкретных энергосистемах, приводит к необходимости унификации проводов для ВЛИ, как это принято в энергосистемах других стран, или определению рациональных областей применения изолированных проводов тех или иных марок с учетом их параметров и эксплуатационных свойств.

Отличительной особенностью проводов типа СИП-2, СИП-2А, СИП-1, СИП-1А является наличие нулевой жилы, изготавливаемой из сплава алюминия (Al, Mg, Si), хотя временно нормативной доку-

Таблица 4

Основные параметры нулевой несущей жилы

Номинальное сечение, мм <sup>2</sup>	Число проволок	Наружный диаметр, мм		Электрическое сопротивление постоянному току при 20°C, Ом·мм <sup>2</sup> /м	Разр. прочность, кН
		мин.	макс.		
25	7	5,70	6,10	1,38	7,4
35	7	6,70	7,10	0,986	10,3
50	7	7,85	8,35	0,720	14,2
(54,6)	7	9,20	9,60	0,630	16,6
70	7	9,45	9,95	0,493	20,6
95	7	11,10	11,70	0,363	27,9
95	19	11,00	12,00	0,363	27,9

K<sub>3</sub> = 0,90 – 0,94

Таблица 5

Характеристики изоляции СИП

Наименование характеристики	Значение или нормированная величина
<b>До старения:</b> Прочность при растяжении, МПа, не менее Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	12,5 200
<b>После старения в термостате при температуре (135±3)°С в течение 168 ч</b> Изменение* значения прочности при растяжении, %, не более Изменение* значения относительного удлинения при разрыве, %, не более	± 25 ± 25
<b>Тепловая деформация</b> Относительное удлинение после выдержки в течение 15 мин при температуре (200±3)°С и растягивающей нагрузке 0,2 МПа, %, не более Остаточное относительное удлинение после снятия нагрузки и охлаждения, %, не более	175 15
<b>Водопоглощение после выдержки в течение 336 ч в воде при температуре (85±2)°С</b> Изменение массы, мг/см <sup>2</sup> , не более	1
<b>Усадка после выдержки в термостате при температуре (130±3)°С в течение 1 ч, %, не более</b>	4
<b>Стойкость к продавливанию:</b> температура, °С время, ч глубина продавливания, %, не более	90 4 50
<b>Содержание сажи, %, не менее</b>	2,5

\*Изменение – разность между средним значением, полученным после старения, и средним значением, полученным до старения, выраженная в процентах от последнего.

ментацией допускается применение алюминиевых жил, упрочненных стальным сердечником.

Характеристики проволоки из сплава алюминия до скрутки в токопроводящую жилу представлены в табл. 3.

Конструкции и основные контролируемые в производстве параметры нулевой несущей жилы из сплава алюминия проводов СИП показаны в табл. 4.

Нулевая несущая жила и основные жилы СИП изготавливаются многопроволочными уплотненными. Коэффициент заполнения сечения  $K_3$  составляет 0,90–0,94 (кроме сечения 54,6 мм<sup>2</sup>).

Нулевая несущая, основные и вспомогательные жилы провода СИП-2А изолированы термостабилизированной светостойкой композицией ПЭ преимущественно типа Visico LE 4423/LE 4472 производства фирмы Vorealis. При этом возможно применение других композиций, если физико-механические и физические характеристики изоляции провода удовлетворяют требованиям, указанным в табл. 5.

Одним из важнейших требований к рабочей и защитной изоляции проводов для ВЛ является устойчивость к воздействию комплекса погодных факторов, включающего в себя воздействие солнечной радиации, температуры, дождя, отрицательных температур. Уровень воздействующих факторов представлен в табл. 6.

Проверка устойчивости изоляции СИП к воздействию комплекса факторов, приведенных в табл. 6, осуществляется в соответствии с методом, рекомендованным в HD 626 S1, ч. 2, путем воздействия недельных циклов (168 часов) режимов в последовательности, указанной на рис. 4.

После завершения воздействий трех испытательных циклов осуществляется проверка физико-механических характеристик изоляции. При этом изменения средних значений прочности и относительного удлинения при разрыве не должны превышать 30%.

Таблица 6

Комплекс погодных воздействующих факторов для испытания СИП

Воздействующий фактор	Значение
Солнечная радиация – мощность светового потока при длине волны 240–400 нм, Вт/м <sup>2</sup>	2,2 ± 0,2
Температура, °С	70 ± 2
Дождь – интенсивность, дм <sup>3</sup> /ч – температура воды, °С	15–25 10–30
Отрицательная температура, °С	–40

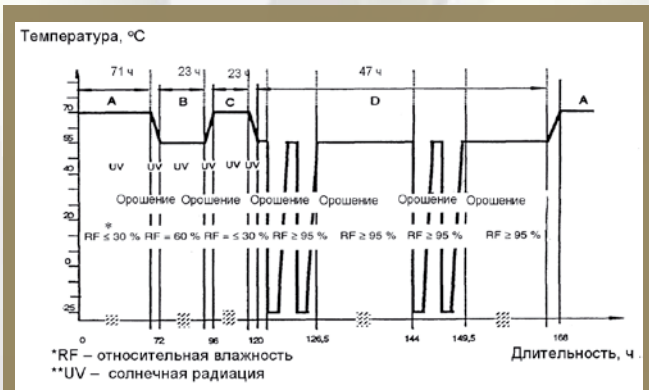
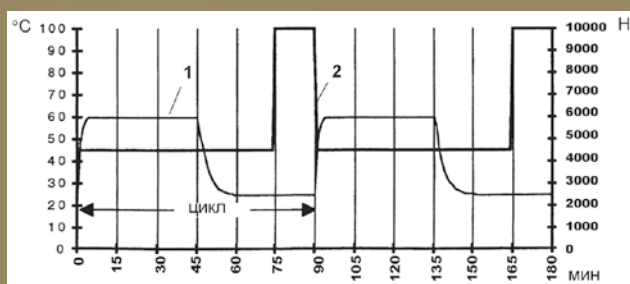
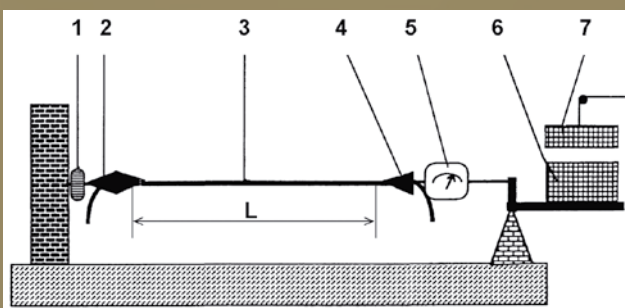


Рис. 4. Режимы испытаний изоляции СИП на стойкость к воздействию погодным факторам



1 — температура; 2 — механическая нагрузка

Рис. 5. График термомеханической нагрузки



1 — вращающийся крепежный зажим; 2 — анкерный зажим; 3 — образец нулевой несущей жилы; 4 — зажим; 5 — динамометр; 6 — груз; 7 — дополнительный груз.

Рис. 6. Схема испытательной установки

К изоляции нулевой несущей жилы дополнительно предъявляется требование по стойкости к термомеханическим нагрузкам и плотности прилегания к токопроводящей жиле.

Плотность прилегания изоляции к жиле проверяется путем приложения усилий сдвига, которые должны быть не менее 180 Н — для сечений жил 25–54,6 мм<sup>2</sup> и 200 Н — для сечений 70–95 мм<sup>2</sup>.

Стойкость к термомеханическим нагрузкам оценивается по воздействию 500 циклов нагрева с приложением изменяющихся растягивающих усилий, как показано на рис. 5. Испытания прово-

дят на специальном стенде, схема которого представлена на рис. 6.

После завершения испытаний контролируют осевое смещение зажимов, подвергают испытанию на напряжением в воде и проверяют деформацию изоляции в местах крепления зажимов. При этом смещение изоляции относительно нулевой жилы не должно превышать 5 мм после 500 циклов испытаний, а деформация изоляции — не более 25%.

Эти специальные виды испытаний для СИП являются обязательными при выборе материалов для изоляции и технологических режимов ее наложения.

В целях унификации конструкций СИП и защищенных проводов и технических требований на провода этой группы в России разработан проект ГОСТ Р «Провода изолированные и защищенные для воздушных линий электропередачи. Общие технические условия», на основе которого будут оформляться частные ТУ на конкретные виды проводов. Проект одобрен кабельными заводами и основными потребителями.

Стандарт устанавливает общие требования к проводам на напряжение 0,6/1 кВ с нулевой несущей жилой и проводам защищенным на напряжение 10, 20 и 35 кВ. Предусмотрено, что в качестве изоляции должны использоваться только сшиваемые композиции светостабилизированного полиэтилена. Использование термопластичного полиэтилена в качестве изоляции не рекомендуется. Не предусмотрено также применение алюминиевых жил, упрочненной сталью в качестве несущего элемента провода. Для повышения устойчивости провода к проникновению воды в случае локального повреждения изоляции введены требования по продольной герметизации проводов.

Принимая во внимание расширение в России производства силовых кабелей на напряжение 10–35 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена, предусматривается создание на их основе специальных самонесущих кабелей воздушной подвески для линий электропередачи на этот класс напряжений. Такие универсальные кабели с учетом уже имеющегося опыта их эксплуатации в отдельных энергосистемах России будут востребованы для широкого применения.

