

Самонесущие изолированные провода (СИП)

В соответствии с новыми требованиями, предъявляемыми к развитию линий электропередач, разработан национальный стандарт России ГОСТ Р 52373-2005, на самонесущие изолированные и защищенные провода, напряжением 0,4 и 6-35 кВ, который вступил в действие с 01.07.2006 г.

Стандартом определены основные типы и конструктивное исполнение СИП для сооружения магистральных линий электропередачи:

- 1.1. СИП-1 — вокруг неизолированной несущей нулевой жилы скручены изолированные основные токопроводящие жилы. Несущая нулевая жила выполнена из алюминиевого сплава АВЕ высокой прочности. Изоляция выполнена из светостабилизированного сшитого полиэтилена.
- 1.2. СИП-2 — вокруг изолированной нулевой несущей жилы скручены изолированные основные токопроводящие жилы. Несущая нулевая жила выполнена из алюминиевого сплава АВЕ высокой прочности. Изоляция выполнена из светостабилизированного сшитого полиэтилена.
- 1.3. СИП-4 — без несущей жилы представляет собой скрученные в жгут основные токопроводящие и нулевая жилы, покрытые изоляцией из светостабилизированного сшитого полиэтилена.

ГОСТ Р 52373-2005 допускает применение СИП-4 только на ввода в дом или прокладку по фасадам зданий (сечением: 2x16, 2x25, 4x16, 4x25). На магистральном участке ВЛ 0,4 кВ необходимо использовать только СИП с изолированной (СИП-2) или с неизолированной (СИП-1) несущей нулевой жилой из алюминиевого сплава. Применение нулевой несущей жилы со стальным сердечником, также не допускается.

Наиболее распространенные сечения СИП и сравнение их параметров приведены в таблице.

Конструкция СИП			
Структура СИП	4 изолированных алюминиевых жилы без нулевой несущей жилы из сплава (СИП-4)	3 изолированных термопластичным сшитым полиэтиленом Изолированные основные токопроводящие жилы + 1 неизолированная несущая нулевая жила из алюминиевого сплава (СИП-1)	3 изолированных термопластичным сшитым полиэтиленом изолированные основные токопроводящие жилы + 1 изолированная несущая нулевая жила из алюминиевого сплава

			(СИП-2)
Сечения СИП	2x16 2x25 4x16 4x25	3x50+70 3x70+95 3x95+95 3x120+95 3x150+95	3x50+54,6 3x70+54,6 3x95+70 3x120+70 3x150+95
1	2	3	4
Распределение механических нагрузок между нулевой и токопроводящими жилами	Не симметричное распределение механических нагрузок между нулевой и токопроводящими жилами. Высокая механическая нагрузка на изоляцию всех жил.	Отсутствует механическая нагрузка на токопроводящие жилы	Отсутствует механическая нагрузка на токопроводящие жилы
Ток короткого замыкания (односекундный), кА, для СИП 70мм ²	3,8	5,9	4,5
Длительно допустимая температура нагрева, °С для СИП 70мм ²	80	70/90	90
Максимально допустимая температура нагрева при к.з. °С	130	135 (160)/250	250

Риск короткого замыкания между нулевой и токопроводящими жилами	Малый	Средний	Малый
Устойчивость к атмосферным перенапряжениям	Высокая	Средняя	Высокая
Трудоемкость выполнения ответвлений	Средняя	Малая	Малая
Возможность прокладки по стенам зданий	Есть	Нет	Есть
Антикоррозионные свойства	Высокие	Средние	Высокие
Возможность соединения СИП в пролете	Нет, соединение СИП осуществляется в шлейфах на опорах.	Есть, надежное герметичное соединение выполняется при помощи соединительных зажимов типа MJPT.	Есть, надежное герметичное соединение выполняется при помощи соединительных зажимов типа MJPT.
Стоимость линейной арматуры выполненной по Европейскому стандарту CENELEC	Стоимость выше на 30-40% по сравнению с арматурой для СИП-1 и СИП-2. Также требуется больше арматуры из-за невозможности Соединения СИП-4 в пролете.	Стоимость ниже чем для СИП-4, но немного выше, чем для СИП-2.	Стоимость ниже, чем для СИП-4 и СИП-1. Арматура для СИП-2 Наиболее технологичная и не требует применения специального инструмента для монтажа.

Трудоемкость монтажа	Сложнее, чем для СИП–1 и СИП–2. Труднее определить нулевую жилу. Требуется динамометрический ключ	Легко и просто монтировать, так как вся анкерная и подвесная арматура крепит одну несущую жилу. Требуется динамометрический ключ.	Легко и просто монтировать, так как вся анкерная и подвесная арматура крепит одну несущую жилу.
----------------------	---	---	---

Глава 2. Отличия в монтаже разных конструкций СИП

Монтаж различных конструкций СИП отличается в части выбора анкерных и поддерживающих зажимов, т.е. тех изделий, которые несут на себе механическую нагрузку.

Ниже приведены особенности монтажа разных систем:

СИП–4 - невозможность соединения СИП–4 в пролетах. Соединение осуществляется в шлейфах на опорах, после чего остаются лишние куски СИП, которым в дальнейшем трудно найти применение.

Сложность разведения жил в напряженном состоянии. Усложняет монтаж анкерных, ответвительных и соединительных зажимов. Максимальные пролеты для 2х16, 4х16, 2х25 4х25 до 40 м, что накладывает ограничение на их использование.

Возникают сложности в определении нулевой несущей и токопроводящих жил, т.к. все жилы имеют одинаковые сечения и выполнены из алюминия. В арматуре для СИП–4 не предусмотрены элементы, которые служат для механической защиты магистральной линии от обрывов.

Для монтажа анкерной и подвесной арматуры требуется динамометрический ключ и специальный монтажный зажим для натяжения СИП.

Поскольку распределение электрических нагрузок на жилы не симметрично и меняется во времени, одна жила нагревается больше, чем другая, большая механическая нагрузка переходит на менее нагретую жилу, что может привести к вытягиванию жилы.

СИП–2 — монтаж провода СИП с изолированной несущей нулевой жилой значительно проще, чем СИП 4, так как вся анкерная и подвесная арматура крепит одну несущую жилу. Легко определяется нулевая жила. Не требуется применение динамометрического ключа.

СИП–1 — так как на нулевой жиле возможно возникновение потенциала, монтаж по фасадам зданий СИП с неизолированной нулевой жилой не допускается.

Глава 3. Надежность конструкции

Для эксплуатирующей организации очень важно сохранение магистральной линии, т.е. СИП, опор, арматуры. При значительной механической перегрузке магистрали СИП в первую очередь должны разрушаться отдельные элементы в анкерной и подвесной арматуре, защищая от разрушения провода и опоры. Проще заменить отдельные элементы в арматуре, чем восстановить СИП и опоры.

Многообразии конструкций СИП приводит к увеличению перечня необходимого инструмента, анкерной и подвесной арматуры, что усложняет проектирование, строительство и эксплуатацию электрических сетей.

Конструкция СИП–2 надежнее в эксплуатации чем СИП-1 и СИП-4, так как всю механическую нагрузку несет на себе изолированная несущая нулевая жила из сплава АВЕ высокой прочности, алюминиевые токопроводящие жилы не подвергаются механическим нагрузкам.

Глава 4. Область применения СИП

4.1. СИП предназначен для сооружения ВЛИ до 1 кВ с подвеской проводов на опорах ВЛ, фасадах зданий и сооружениях.

4.2. СИП рекомендуется к использованию во всех климатических районах по ветровой и гололедной нагрузке при температуре окружающей среды в диапазоне температур окружающего воздуха $-60...+60^{\circ}\text{C}$.

4.3. СИП используется также при сооружении ВЛ с совместной подвеской проводов ВЛ 6—20 кВ, освещения и линий проводной связи.

Глава 5. Конструктивное исполнение СИП-2

5.1. СИП–2 независимо от назначения, количества и сечения токопроводящих жил изготавливается с несущей нулевой изолированной жилой из алюминиевого сплава.

5.2. СИП–2 состоит из изолированной несущей нулевой жилы, вокруг которой скручены три основные токопроводящие жилы и при необходимости, вспомогательные токопроводящие жилы, а также контрольные провода.

5.3. Изолирующая оболочка жил устойчива к воздействиям окружающей среды и выполнена из сшитого полиэтилена (СПЭ) и содержащего в своей структуре газовую сажу для обеспечения длительного срока эксплуатации.

5.4. Токопроводящие жилы СИП–2 выполнены из алюминия прошедшего специальную обработку, а нулевая несущая жила — из алюминиевого сплава.

5.5. Маркировка проводов СИП–2 произведена путем нанесения на изоляцию жил по всей длине соответствующих знаков.

5.6. СИП–2 характеризуется следующими основными свойствами:

- стойкость к ультрафиолетовому излучению, воздействию озона и влаги;
- устойчивость к воздействию внешних атмосферных условий (образованию гололеда, различным осадкам, атмосферному электричеству и т.п.);
- сохранение механической прочности и электрических параметров в температурном интервале $-60...+85^{\circ}\text{C}$.
- Разрушающее механическое напряжение алюминиевой токопроводящей жилы составляет 120 Н/мм^2 , а несущей нулевой жилы, выполненной из термоупрочненного сплава АВЕ — 295 Н/мм^2 .

5.7. Ниже приведены конструктивные параметры СИП, выполненного по ГОСТ Р 52373-2005.

Магистральные СИП. Характеристика

Магистральные СИП состоят из четырех скрученных при изготовлении изолированных жил, трех токопроводящих и одной несущей. Скрутка жил имеет правое направление. Нередко в жгут добавляется одна, две или три вспомогательных токопроводящих жилы (сечением: 16, 25 или 35 мм²) для цепей наружного освещения.

Несущая нулевая жила:

жила — круглая, многопроволочная, уплотненная, скрученная из проволок алюминиевого сплава АВЕ, сечением 25, 35, 50, 54.6, 70, 95мм²;

изоляция — светостабилизированный сшитый полиэтилен черного цвета.



Конструкция, механическая прочность и электрическое сопротивление токопроводящих жил и нулевой несущей жилы.

Нулевая несущая жила

Сечение жилы, мм ²	Номинальный диаметр неизолированной жилы, мм	Номинальный диаметр жилы по изоляции, мм	Прочность при растяжении жилы кН, не менее	Электрическое сопротивление жилы, Ом/км
25	5,9	8,5	7,4	1,380
35	6,9	9,5	10,3	0,986

50	8,1	11,1	14,2	0,720
54,6	9,4	12,6	16,6	0,630
70	9,7	12,7	20,6	0,493
95	11,4	14,8	27,9	0,363

Токопроводящая жила

Сечение жилы, мм ²	Номинальный диаметр неизолированной токопроводящей жилы, мм	Номинальный диаметр токопроводящей жилы по изоляции, мм	Электрическое сопротивление жилы, Ом/км
16	4,9	7,45	1,910
25	5,9	8,5	1,200
35	6,9	9,5	0,868
50	8,1	11,1	0,641
70	9,7	12,7	0,443
95	11,4	14,8	0,320

120	12,8	16,2	0,253
150*	14,2	17,8	0,206

Токовые нагрузки, диаметр по скрутке, радиус изгиба и масса проводов.

Маркоразмер провода		Допустимый ток нагрузки, А	Ток короткого замыкания, кА	Номинальный диаметр по скрутке, мм		Допустимый радиус изгиба, м		Масса провода, кг/км
				СИП-2	СИП-1	СИП-2	СИП-1	СИП-2
1x16+1x25	105	1,5	13,2	16,0	0,24	0,29	136	164
2x16	105	1,5	-	14,9	-	0,27	-	135
2x25	135	2,3	-	17,0	-	0,31	-	191
3x16+1x25	100	1,5	19,8	20,6	0,36	0,38	271	299
3x25+1x35	130	2,3	22,7	23,5	0,41	0,43	382	414
3x25+1x54,6	130	2,3	-	24,1	-	0,44	-	505
3x35+1x50	160	3,2	25,5	26,4	0,46	0,48	513	557

3x35+1x54,6	160	3,2	-	26,7	-	0,48	-	595
3x50+1x54,6	195	4,6	-	30,7	-	0,56	-	750
3x50+1x70	195	4,6	29,9	30,7	0,54	0,56	723	774
3x70+1x54,6	240	6,5	-	34,7	-	0,63	-	934
3x70+1x70	240	6,5	-	34,7	-	0,63	-	957
3x70+1x95	240	6,5	34,3	35,2	0,62	0,64	976	1043
3x95+1x70	300	8,8	38,4	39,7	0,7	0,72	1160	1211
3x95+1x95	300	8,8	39,2	40,4	0,71	0,73	1229	1296
3x120+1x70	340	7,2	-	43,0	-	0,78	-	1443
3x120+1x95	340	7,2	42,4	43,8	0,77	0,79	1461	1528
3x150+1x70	380	13,9	-	46,7	-	0,85	-	1691
3x150+1x95	380	13,9	460	47,6	0,83	0,86	1710	1776
4x16	100	1,5	-	18,0	-	0,33	-	269

4x16+1x25	100	1,5	19,8	20,6	0,36	0,38	338	366
4x25	130	2,3	-	20,5	-	0,37	-	382
4x25+1x35	130	3,2	22,7	23,5	0,41	0,43	478	510
3x25+1x35+1x16	130	2,3	-	23,5	-	0,43	-	481
3x25+1x54,6+1x16	130	2,3	-	24,1	-	0,44	-	572
3x35+1x50+1x16	160	3,2	25,5	26,4	0,46	0,48	580	624
3x35+1x54,6+1x16	160	3,2	-	26,7	-	0,48	-	662
3x50+1x54,6+1x16	195	4,6	-	30,7	-	0,56	-	818
3x50+1x70+1x16	195	4,6	29,9	30,7	0,54	0,56	791	841
3x70+1x54,6+1x16	240	6,5	-	34,7	-	0,63	-	1001
3x70+1x70+1x16	240	6,5	-	34,7	-	0,63	-	1025
3x70+1x95+1x16	240	6,5	34,3	35,2	0,62	0,64	1043	1110
3x95+1x70+1x16	300	8,8	38,4	39,7	0,7	0,72	1227	1278

3x95+1x95+1x16	300	8,8	39,2	40,4	0,71	0,73	1296	1363
3x120+1x70+1x16	340	7,2	-	43,0	-	0,78	-	1510
3x120+1x95+1x16	340	7,2	42,4	43,8	0,77	0,79	1528	1595
3x150+1x70+1x16	380	13,9	-	46,7	-	0,85	-	1758
3x150+1x95+1x16	380	13,9	46,0	47,6	0,83	0,86	1780	1843
3x35+1x50+1x25	160	3,2	25,5	26,4	0,46	0,48	609	652
3x35+1x54,6+1x25	160	3,2	-	26,7	-	0,48	-	690
3x50+1x54,6+1x25	195	4,6	-	30,7	-	0,56	-	846
3x50+1x70+1x25	195	4,6	29,9	30,7	0,54	0,56	819	869
3x70+1x54,6+1x25	240	6,5	-	34,7	-	0,63	-	1029
3x70+1x70+1x25	240	6,5	-	34,7	-	0,63	-	1053
3x70+1x95+1x25	240	6,5	34,3	35,2	0,62	0,64	1071	1138
3x95+1x70+1x25	300	8,8	38,4	39,7	0,7	0,72	1255	1306

3x95+1x95+1x25	300	8,8	39,2	40,4	0,71	0,73	1324	1391
3x120+1x70+1x25	340	7,2	-	43,0	-	0,78	-	1538
3x120+1x95+1x25	340	7,2	42,4	43,8	0,77	0,79	1556	1623
3x150+1x70+1x25	380	13,9	-	46,7	-	0,85	-	1786
3x150+1x95+1x25	380	13,9	46,0	47,6	0,83	0,86	1805	1871

СИП-4 для ответвления от магистрали к вводам. Характеристика.

Состоят из 2-х или 4-х скрученных при изготовлении изолированных алюминиевых токопроводящих жил сечением 16 или 25 мм². Ответвительные провода не содержат отдельной несущей жилы. Они могут использоваться на коротких участках в качестве магистрали для освещения общественных мест.

Указанные провода относятся к самонесущему типу.



Токопроводящая жила:

жила — алюминиевая, круглая, многопроволочная уплотненная;

изоляция — светостабилизированный сшитый полиэтилен черного цвета;

маркировка — цифры или цветные полосы или продольно выпрессованные риски.

Технические характеристики СИП-4 для ответвления от магистрали к вводам.

Площадь сечения жилы, мм ²	Диаметр, мм				Масса жгута, кг/км	Линейное сопротивление при 20°C, Ом/км	Сила тока при 20°C, А	Падение напряжения, В/км	Прочность жилы на разрыв, кН
	жилы	Жилы с изоляцией		жгута					
		мин	макс						
2x16	4,9	7,2	7,7	14,0	137	1,91	93	3,98	1,90
2x25	5,9	8,5	3,9	17,2	210	1,20	122	2,54	3,00
4x16	4,9	7,2	7,7	17,8	274	1,91	83	3,28	1,90
4x25	5,9	8,5	8,9	20,2	420	1,20	111	2,18	3,00

Глава 6. Преимущества ВЛИ с СИП

По сравнению с традиционными ВЛ с неизолированными проводами (ВЛН) ВЛИ до 1 кВ имеет ряд преимуществ:

- строительство ВЛИ возможно без специальной подготовки территории (трассы), отсутствие необходимости в вырубке просеки перед монтажом;
- простота конструктивного исполнения опор (отсутствие траверс и изоляторов);
- применение для ВЛИ серийно выпускаемых стоек, отвечающих требованиям по механической прочности для соответствующих климатических условий;
- применение на ВЛИ стоек меньшей высоты, а также уменьшения безопасных расстояний до зданий и других инженерных сооружений;
- увеличение длины пролета до 60м.;
- малый риск коротких замыканий (КЗ) между нулевой несущей и токопроводящими жилами;

- повышение надежности в зонах интенсивного образования гололеда и налипания мокрого снега;
- безопасная работа вблизи ВЛИ до 1 кВ;
- возможность проводить техническое обслуживание и ремонт ВЛИ под напряжением, без отключения потребителей;
- возможность прокладки СИП по фасадам зданий, что может исключить установку части опор;
- простота монтажных работ и, соответственно, уменьшение сроков строительства;
- сокращение объемов и времени аварийно-восстановительных работ;
- резкое снижение (более 80%) эксплуатационных затрат. Это обуславливается высокой надежностью и бесперебойностью электроснабжения потребителей;
- высокая механическая прочность жил и, соответственно, меньшая вероятность их обрыва;
- снижение потерь напряжения вследствие малого реактивного сопротивления СИП (0,1 Ом/км по сравнению с 0,35 Ом/км для неизолированных проводов);
- использование СИП на ВЛИ снижает вероятность хищения электроэнергии, так как изолированные, скрученные между собой жилы исключают самовольное подключение к линии путем выполнения наброса на провода;
- значительное снижение числа случаев вандализма и воровства.

Глава 7. Экономические показатели ВЛИ до 1 кВ

ВЛН 0,4 кВ.

ВЛН 0,4 кВ при сложившейся технологии строительства обуславливают значительные затраты на стадии строительства и в процессе их эксплуатации. Гололедные и ветровые нагрузки, действие низких температур и другие внешние воздействия приводят к разрушению линий, пережогу проводов при взаимном касании. При эксплуатации ВЛН требуется систематическая расчистка трасс ВЛН от деревьев и кустарников, что связано с дополнительными эксплуатационными расходами, которых при использовании ВЛН напряжением 0,4 кВ избежать невозможно.

ВЛИ 0,4 кВ.

Опыт проектирования, строительства и эксплуатации ВЛИ 0,4 кВ показывает высокую эффективность их применения. ВЛИ 0,4 кВ требует примерно таких же затрат при строительстве, как и ВЛН (расхождения не превышают 25%). При этом существенно различается структура затрат (примерная структура стоимости ВЛН и ВЛИ, а также затрат на строительные и другие работы приведена в таблице).

Тип ВЛ	Всего	Стоимость			Затраты на выполнение		
		опор	провода	арматуры	строительных работ	монтажных работ	прочие затраты
ВЛН	100	34,4	21,9	13,7	10,4	5,3	14,3
ВЛИ	100	20,9	49,8	13,5	5,1	3,0	7,7

ВЛИ практически не требуют затрат на обслуживание. При эксплуатации ВЛИ резко сокращается число аварийных отключений (в зарубежных странах такие линии получили название необслуживаемых линий). Относительно невысокая стоимость, снижение затрат на выполнение монтажных работ, высокие показатели механической и электрической надежности при эксплуатации ВЛИ привели к тому, что ВЛН напряжением 0,4 кВ в настоящее время в зарубежных странах не строятся.

Экономические показатели ВЛИ 0,4 кВ. Техничко-экономический анализ проектов-аналогов, разработанных ОАО <РОСЭП> в 1997-2000 годы, показывает целесообразность применения ВЛИ до 1 кВ. При проектировании ВЛИ следует иметь в виду:

- при одинаковых значениях пролета с ВЛН с соблюдением габаритных параметров рекомендуется использовать укороченные стойки;
- применение СИП и линейной арматуры для строительства ВЛИ направлено на снижение затрат при эксплуатации линии;
- высокая технологичность работ при строительстве ВЛИ значительно сокращает сроки строительных и объемы монтажных работ;
- снижение расходов при строительстве ВЛИ связано с экономией транспортных расходов (вследствие уменьшения массы перевозимых железобетонных стоек, металлоконструкций, изоляторов и других элементов линии), а также затрат на оплату труда и плановых накоплений.

Сравнение расчетных показателей ВЛИ и ВЛН указывает на конкурентоспособность строительства ВЛИ в населенных пунктах с традиционными электрическими нагрузками. При оптимизации затрат в процессе проектирования ВЛИ 0,4 кВ можно эффективно использовать конструктивные особенности данного типа линий:

- применять традиционные стойки под опоры ВЛИ, которые позволят увеличить длину пролетов и отказаться от строительства ВЛИ по двум сторонам улицы (строительство ВЛИ только по одной стороне улицы);
- на стесненных участках местности (особенно при выходе ВЛИ 0,4 кВ с подстанции 10/0,4 кВ) на одних опорах возможна подвеска более 2-х цепей;
- в населенных пунктах, расположенных на разных берегах реки, водоема, оврага, ущелья или других преград протяженностью до 500 м, возможны переходы с использованием СИП;
- технология строительства ВЛИ напряжением 0,4 кВ сокращает сроки строительства на 30-40%; при этом требуется менее квалифицированный персонал, чем при строительстве ВЛН.

Эффективность ВЛИ.

На практике эксплуатационные затраты ВЛН в 3—4 раза превышают соответствующие затраты для ВЛИ. При этом ВЛИ безопасны для окружающих. Впервые возникает возможность, в случае необходимости, производить работы на ВЛИ под напряжением с минимальным риском для персонала. При эксплуатации ВЛИ напряжением 0,4 кВ имеет место экономия финансовых средств. ВЛИ 0,4 кВ более адаптирована к местным условиям в сравнении с ВЛН, т. к. при увеличении нагрузок или появлении новых потребителей возможна подвеска дополнительных цепей на действующих линиях (на ВЛН эта реконструкция практически не реальна). Возможен также вариант подвески второй цепи с использованием СИП на опорах линий с голыми проводами при наличии запаса механической прочности опор ВЛН.