

УДК 621.311

**ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ САМОНЕСУЩЕГО  
ИЗОЛИРОВАННОГО ПРОВОДА БЕЗ ОТДЕЛЬНОЙ НЕСУЩЕЙ ЖИЛЫ В  
МАГИСТРАЛЯХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ**

Ковтун Г.К.

Научный руководитель – старший преподаватель Попкова Н.А.

Возрастающий спрос на электроэнергию в последние годы, а также постепенный износ основных фондов электроэнергетической сферы вызывают необходимость в их модернизации. Одной из составных частей модернизации в области электроэнергетики является реконструкция распределительных сетей 0,4 кВ.

Необходимость данного направления деятельности обусловлена спецификой сетей данного класса напряжения, их изношенностью, ростом бытовой нагрузки. Одна из характерных черт бытовой нагрузки нашей страны – это значительный рост электропотребления для отопления и горячего водоснабжения за последний год – 36 миллионов кВт·ч на май 2020 года, по сравнению с 13 миллионов кВт·ч за весь предыдущий год. Это было отмечено министром энергетики во время обсуждения актуальных вопросов энергетической области в июне [3]. На основании вышеперечисленного, а также принимая во внимание положения действующих программы [4] и плана [5] развития электроэнергетической сферы можно сделать вывод о актуальности модернизации электросетей 0,4 кВ.

Согласно действующему ТКП [13] линии электропередач до 1 кВ рекомендуется выполнять с применением самонесущих изолированных проводов (СИП). Однако существующий широкий спектр типов данных проводов, различные методики их применения, вызывают ряд проблем и вопросов, связанных с проектированием, монтажом и эксплуатацией этих линий.

Опыт строительства и эксплуатации традиционных систем электроснабжения – воздушных линий (ВЛ) 0,4 кВ с «голыми» проводами показал их недостаточную надёжность, высокие трудозатраты при возведении и монтаже, а также при эксплуатации, необходимость постоянного внедрения мероприятий по уменьшению количества аварийных отключений. Всё это определяет необходимость внедрения технологии, позволяющее исключить перечисленные выше недостатки или снизить их негативное влияние на эффективность работы распределительных сетей. Такой технологией на современном этапе развития сетей стал СИП.

Преимущества линий электропередач с использованием СИП можно объединить в три группы [2].

Первая группа – преимущества, которые сказываются при проектировании и монтаже.

- Простота конструктивного исполнения линии (отсутствие траверс и изоляторов, применения стоек опор меньшей длины, простота исполнения многоцепных линий и др.).
- Уменьшение безопасных расстояний от зданий и инженерных

сооружений.

- Возможность прокладки СИП по стенам зданий и сооружениями.
- Отсутствие необходимости в вырубке просеки перед монтажом, простота монтажных работ и, соответственно, уменьшение сроков строительства.

Вторая группа – преимущества эксплуатации и безопасность. В эту группу входят приведенные выше свойства электробезопасности и надёжности СИП, а также:

- Повышение электробезопасности и надёжности: изоляция на проводах позволяет проводить работы под напряжением, также исключается возможность коротких замыканий между проводами.
- Снижение веса гололеда и мокрого снега на проводах СИП по сравнению с неизолированными проводами.
- Высокая механическая прочность проводов и, соответственно, меньшая вероятность их обрыва.
- Пожаробезопасность, исключение коротких замыканий при схлестывании проводов или перекрытии их посторонними предметами.
- Уменьшение безопасных расстояний до зданий и инженерных сооружений.

Третья группа – преимущества, влияющие на качество электрической энергии, снижение технических и коммерческих потерь в воздушных распределительных сетях напряжением до 1 кВ.

- Снижение потерь напряжения и технических потерь электрической энергии вследствие малого реактивного сопротивления СИП по сравнению с традиционными ВЛ (0,1 Ом/км по сравнению с 0,35 Ом/км для неизолированных проводов).
- Снижение случаев вандализма и воровства. Температура плавления изоляции жил близка к температуре плавления алюминия. СИП практически не пригоден для вторичной переработки с целью получения цветного металла.

Целесообразность применения воздушных линий с изолированным проводом для снабжения жилой застройки показал опыт сетей города Воронеж. Это позволило увеличить показатели надёжность линий, улучшилось качество электроснабжения, снизились эксплуатационные издержки. Однако опыт также показал, что выполнение при помощи СИП воздушных линий и ответвлений к потребителям полностью не исключают возможность отбора (воровства) электроэнергии [6]. Представляется возможным отбор непосредственно с опор магистральных линий.

Описанные выше преимущества СИП также доказывает опыт его использования в Крымском регионе. Однако применение технологии СИП в данных условиях показывает важность необходимости учёта климатических условий региона при проектировании, монтаже и эксплуатации линии с использованием СИП. Так через три года эксплуатации линии прослеживались следы коррозии элементов ВЛИ [8], в частности зажимов проводов, что связано с агрессивной средой прибрежных районов. При этом важно отметить, что

корпус зажима имел цинковое покрытие, однако крепежный элемент зажима при монтаже частично повредил это покрытие.

Помимо уязвимости арматуры, также необходим тщательный подход к выбору изоляции ВЛИ, которая при разных условиях среды также может подвергаться разрушению. В рамках работы [10] был проведён эксперимент о возможности применения СИП для прокладки в подвальных помещениях в условиях повышенной влажности и эксплуатации провода в воде. Нагрузка составляла 100 А. СИП прослужил год, но в результате было определено разрушение изоляции и, как следствие, перекрытие между двумя фазными проводами. Вывод – для использования СИП в условиях повышенной влажности и эксплуатации провода в воде необходимо усилить изоляцию провода, и проводить дополнительные испытания напряжением 10 кВ в воде.

Типовое конструктивное исполнение СИП представляет собой жгут, скрученный из определенного количества жил в определенном порядке, одна из которых может выполнять функции несущего элемента линии. На данный момент широкое распространение получили 4 варианта исполнения самонесущего изолированного провода.

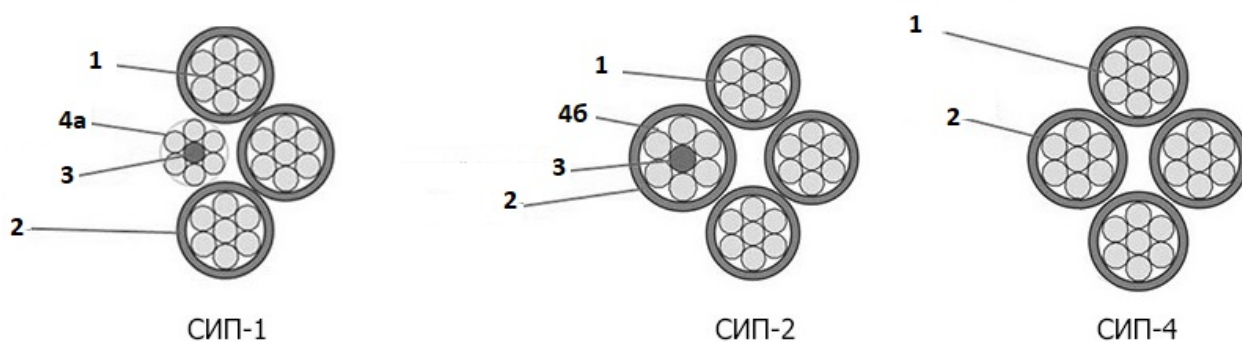


Рисунок 1 – варианты исполнения СИП

1 – фазная токопроводящая жила, 2 – изоляция, 3 – стальной сердечник, 4а – нулевая жила, несущая, неизолированная, 4б – нулевая жила, несущая, изолированная

СИП-1 – четырехжильный провод, три из них предназначены для трех фаз и оснащены термопластичной изоляцией, а четвертая для нулевого вывода, но она не изолирована. В нулевом проводнике центральная проволока выполнена из стали и является несущей.

СИП-2 – такой же четырехжильный вариант, как и предыдущий, с единственным отличием в том, что нулевой провод имеет изоляцию. В классическом исполнении нулевая жила изолируется термопластичным полиэтиленом, а в марке СИП-2А сшитым полиэтиленом, так же как и фазные.

СИП-4 – представляет собой парную систему, в которой каждая жила имеет свою пару, но, в отличие от предыдущих, у нее отсутствует отдельный несущий элемент, подвеска провода осуществляется за все 4 жилы. В качестве изоляции здесь применяется термопластичный полиэтилен.

СИП-5 – полностью идентичен с предыдущей маркой – также имеет парное число жил и не содержит жилы с несущим элементом. Единственным отличием является тип изоляции, покрывающей проводники, в марках СИП-5 и СИП-5Н

это сшитый полиэтилен, который позволяет повысить рабочий температурный предел до 30%.

Наиболее часто используемые типы: СИП-2, СИП-4 и СИП-5 (последние два отличаются лишь материалом исполнения изоляции). Во многих рекомендациях и пособиях по проектированию в магистралях линии рекомендуется использовать СИП-2 и его разновидности, а СИП-4(5) в качестве ответвлений к потребителю [2], [7]. При этом СИП-4(5) не рекомендуется использовать в магистралях в виду особенности изменения несущих свойств под нагрузкой. В случае провода без несущего элемента при эксплуатации растягивающие усилия воспринимают все жилы. Так как в анкерном зажиме для СИП-4(5) все четыре жилы принимают высокую механическую нагрузку, то та жила, которая греется больше, чем другие, будет вытягиваться. Поэтому нагрузка четырех проводов распространится на три или на два провода, что приведет к разрушению нулевой или токопроводящей жилы.

Для доказательства возможности применения самонесущих изолированных проводов без отдельной несущей жилы в магистралях линии рассмотрим несколько критериев.

*Механическая прочность на разрыв.* Как уже упоминалось, в данном типе самонесущего провода отсутствует выделенный несущий элемент, а подвеска СИП производится за все жилы одновременно, что увеличивает механическую прочность всей линии, если брать во внимание исключительно прочность материала и количество точек подвески. Таким образом прочность СИП определяется суммированием прочности всех жил. Для примера приведём данные о прочности на разрыв самонесущих проводов от крупного производителя СИП – ENSTO [2]. СИП-5, с сечением жил  $50 \text{ мм}^2$  имеет прочность порядка  $30,7 \text{ кН}$ , что значительно выше, чем у СИП-2 с тремя силовыми жилами сечением  $50 \text{ мм}^2$  и несущей жилой сечением  $70 \text{ мм}^2$  –  $20,6 \text{ кН}$  и даже выше прочности СИП-2 у которого несущая жила имеет сечение  $95,6 \text{ мм}^2$ , её прочность на разрыв составляет  $27,9 \text{ кН}$ . Такой большой выигрыш в прочности позволяет значительно увеличить длину пролетов.

Однако данные заключения справедливы в случае “холодного” провода. Как упоминалось выше проблема проявляется, когда под действием нагрузки одна жила нагревается больше остальных. Расчеты, проведённые в работе [12] показывают, что даже при увеличении в 2 раза тока в одной из жил удлинение составляет не более 0,01 % от первоначальной длины провода в пределах одного анкерного пролета длиной 500 м, что является незначительным.

Таким образом можно сказать, что система СИП-4 не только не уступает системам с несущим проводником по прочностным характеристикам, но и превосходит.

*Надежность.* Изучая опыт эксплуатации СИП на постсоветском пространстве явных различий в показателях надёжности различных систем найти не удалось. Однако опыт зарубежного применения [11] демонстрирует, что в системах с отдельным несущим проводником возможна его потеря, в следствие того, что к нему приложена вся механическая нагрузка. Обрыв нуля – серьёзная авария для всего оборудования, но для чувствительного

дорогостоящего оборудования потребителя в особенности. По этой причине применяется СИП с повторной нулевой жилой.

В системе СИП, где все проводники являются несущими, вероятность такой аварии практически равна нулю, помимо этого зажим выполнен таким образом, что они не дают разрушиться одной жиле в отдельности от других. Разрушение системы произойдёт применительно ко всем жилам так обеспечивается фактически исключение возможности таких аварий.

*Изоляционные параметры и параметры проводника.* По данным параметрам СИП-4(5) и СИП-2 имеют мало различий. Изоляционные материалы могут быть представлены как сшитым полиэтиленом, так и термопластичной изоляцией в обоих случаях.

Однако, как упоминалось выше для обеспечения такой же несущей способности системы СИП-2 и подобные имеют несущий нулевой проводник, выполненный из алюминиевого сплава – АВЕ («альмелек»)[2] с разрывной прочностью  $300 \text{ Н/мм}^2$ , который имеет более высокие прочностные характеристики, но более трудоёмок в производстве и, следовательно, имеет большую стоимость (разрывная прочность алюминия в проводящих жилах –  $175 \text{ Н/мм}^2$ ) Также данный проводник выполняется большим сечением, что в свою очередь повышает материалоемкость, габариты, вес и также негативно влияет на стоимостные показатели.

*Монтаж.* В области монтажа опыт показывает, что при применении СИП без отдельной несущей жилы осуществляется проще и исключена ошибка в закреплении провода не за несущую жилу, а за фазную. Это связано с тем, что отсутствует этап на котором происходит выделение несущей жилы из жгута с целью последующего её закрепления, в зажим закрепляются сразу все жилы.

Однако следует отметить, что монтаж СИП с выделенной несущей жилой осуществляется с применением меньшего количества арматуры и специализированных приспособлений, в отличие от систем без неё. Также зажимы для проводов с отдельным несущим элементом имеют более простую конструкцию, особенно это актуально при их монтаже на угловой анкерной опоре. В этом случае монтаж системы из двух анкерных зажимов для провода все жилы которого являются несущим затруднён, но в данный момент выпускаются поддерживающие зажимы обеспечивающие угол поворота линии до  $90^\circ$ , что частично решает проблему.

В связи с этим несмотря на меньшую стоимость провода без отдельной несущей жилы, общая стоимость при строительстве линии увеличивается за счёт большего количества арматуры и специализированного инструмента, а также за счёт большей трудоёмкости процесса монтажа. Поэтому необходим более подробный анализ экономической части сравнения вариантов.

Исходя из анализа рассмотренных критериев сравнения можно сделать вывод о возможности применения самонесущего изолированного провода без отдельной несущей жилы в магистрали линии.



## Литература

1. Гафуров А.М. Основные особенности при выборе экономически выгодных сечений проводов / А.М. Гафуров, Р.М. Калимуллина, Л.И. Гимадеева // Инновационная наука. – 2016. – № 1-2 (13). – С. 31-33.
2. Логинова, С.Е. Пособие по проектированию воздушных линий электропередачи напряжением 0,38–20 кВ с самонесущими изолированными и защищёнными проводами. Книга 1. Система самонесущих изолированных проводов напряжением до 1 кВ без отдельного несущего элемента/ С. Е. Логинова, А.В. Логинов Ред. 5, доп. С-Пб: ENSTO - ОАО «НТЦ Электроэнергетики» (РОСЭП), 2017 г. — 331 с.
3. Министр энергетики – о растущем спросе населения на электроэнергию для отопления и горячего водоснабжения// Сайт Министерства энергетики Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.by/ministr-jenergetiki-o-rastushhem-sprose-naselenija-na-jelektroenergiju-dlja-otoplenija-i-gorjachego-vodosnabzhenija-a-takzhe-o-tom-kak-v-strane-budut-pri-rastat-kvartaly-mnogokvartirnyh-jelektrodomov/>. – Дата доступа: 28.09.2020
4. Об утверждении Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда на 2016–2020 годы» [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 21 апр. 2016 г., № 326: в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 21.12.2018 – Режим доступа: [https://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/koncepcii\\_i\\_proframmi/#1592304744507-72a85e0b-feba](https://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/koncepcii_i_proframmi/#1592304744507-72a85e0b-feba). – Дата доступа: 28.09.2020
5. Об утверждении комплексного плана развития электроэнергетической сферы до 2025 года с учетом ввода Белорусской атомной электростанции [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 1 мар. 2016 г., № 169:– Режим доступа: <https://minenergo.gov.by/wpcontent/uploads/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BB%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD.pdf>. – Дата доступа: 28.09.2020
6. Опыт применения технологии СИП в г.Воронеже / ЗАО «Воронежпроект»// Сайт компании "Сикам Украина"[Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа:<http://www.nbu.gov.ua/articles>. – Дата доступа: 28.09.2020
7. Рекомендации по применению самонесущих изолированных проводов линейной арматуры на воздушных линиях 0,4 кВ// ООО "НИЛЕД-ТД" – Подольск: 2009 г. — 93 с.
8. Следы СИП на западном побережье Крыма есть!/Староверов В.Ю. // Сайт о технологии применения самонесущих изолированных проводов [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: [http://www.starinfo-nic.ru/si/analitic/an\\_21.html](http://www.starinfo-nic.ru/si/analitic/an_21.html). – Дата доступа: 28.09.2020
9. Удачные решения//Сайт о технологии применения самонесущих изолированных проводов [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: [http://www.starinfo-nic.ru/si/resh\\_vli/resh\\_udacha.html](http://www.starinfo-nic.ru/si/resh_vli/resh_udacha.html). – Дата доступа: 28.09.2020
10. Цурак С. М. Рекомендации по модернизации городских распределительных линий электропередач // Сборник научных трудов ДониЖТ [Электронный ресурс]. – 2012. №29. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/rekomendatsii-po-modernizatsii-gorodskih-raspredelitelnyh-linij-elektroperedach>. – Дата доступа: 29.09.2020
11. Четырехпроводной системе сип без предубеждений / Е. Лютик // Новости электротехники [Электронный ресурс]. – 2006. - № 3(39). – Режим доступа: <http://www.nbu.gov.ua/articles>. – Дата доступа: 29.09.2020
12. Шевченко В.В.Перспективы внедрения и особенности проектирования ВЛЭП с изолированными проводами / В.В. Шевченко, С. М. Цурак, И. Я. Лизан // Сборник научных трудов Харьковский национальный университет Воздушных Сил. - Вып. 4(62 ), 2007, с. 127-134.

13. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний: ТКП 339-2011 (02230). – Введ. 01.12.11 – Минск : Минэнерго, 2011. – 593 с.