

И.В. БАРБАШОВ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков

В.В. ЧЕРКАШИНА, ассистент, НТУ "ХПИ", Харьков

Е.Ю. ПИЛИПЕНКО, магистр, НТУ "ХПИ", Харьков

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ПРОЕКТИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ УКРАИНЫ

Розглянуто сучасні засоби для підвищення ефективності передачі електричної енергії при проектуванні та реконструкції електричних мереж. Запропоновано перспективні напрямки для створення і модернізації електричних мереж в Україні.

Рассмотрено современные тенденции для повышения эффективности передачи электрической энергии при проектировании и реконструкции электрических сетей. Предложено перспективные направления для создания и модернизации электрических сетей в Украине.

Введение. Существующие электрические сети созданы еще в рамках Советского Союза в результате электрификации страны, которая закончилась в 70-х годах прошлого столетия. Учитывая это, значительная часть электросетевого оборудования, в том числе и воздушные линии электропередачи (ВЛ), эксплуатируются фактически за пределами нормативного срока службы. Поэтому, принимая во внимание мировой опыт по внедрению современных технологий для реализации задач по повышению эффективности передачи электрической энергии при проектировании и реконструкции электрических сетей, в Украине сложились объективные условия для развития и применения перспективных видов кабельной продукции – самонесущих изолированных (СИП) и защищенных (ПЗВ) проводов, а также кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Применение СИП и ПЗВ является на сегодняшний день наиболее прогрессивным и перспективным путем развития электрических сетей. По сравнению с традиционными ВЛ линии с применением СИП и ПЗВ имеют ряд конструктивных особенностей: наличие изоляционного покрова на токоведущих проводниках; повышенную механическую прочность; прогрессивную сцепную и ответвительную арматуру. В результате этих преимуществ значительно повышается надежность электроснабжения потребителей и резко снижаются эксплуатационные затраты, что, в свою оче-

редь, и определяет высокую экономическую эффективность изолированных проводов в электрических сетях. 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 преимущества ВЛИ с применением изолированных и защищенных проводов представлены в табл. 1. [1, 2]

Таблица 1 – Основные преимущества ВЛИ с применением СИП

Преимущества ВЛИ	Чем обусловлены
Высокая электро-безопасность	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.

Анализ объемов реализации продукции основными отечественными производителями и зарубежными поставщиками, присутствующими на рынке Украины, показал, 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. 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.[2] Основные типы проводов представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Основные типы изолированных и защищенных проводов

Тип провода	Обозначение провода 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		
	СИП-2АФ	ТУ 16.К22-019-2003	Торсада (Франция)
Изолированные провода на 0,6/1 кВ без несущего элемента	СИП-4	ТУ 3553-015-05755714-2002	АЛУС (Швеция)
	СИПс-4		АsXS (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	

Конструктивное исполнение СИП, получивших наибольшее распространение, представлены на рис. 1. [1]

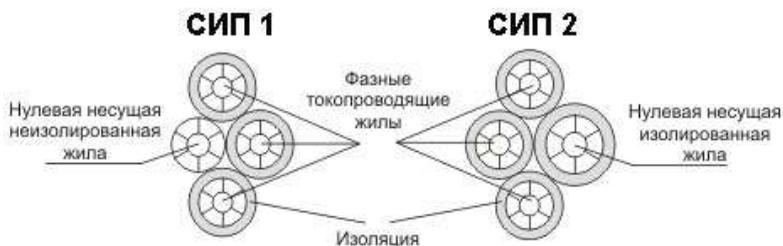


Рис. 1. Конструктивное исполнение СИП

Аналогом проводов, представленных на рис. 1 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), 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.

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 Украине.

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 Торсада по NFC 33 209, Франция). Благодаря наличию изолированной нулевой несущей жилы значительно снижается вероятность короткого замыкания на нулевой провод, повышается стойкость к воздействию коррозионноактивных сред и устойчивость к атмосферным перенапряжениям, а также имеется возможность осуществлять ответвления без отключения линии.

Четвертым типом проводов являются защищенные одножильные провода, у которых изоляционный слой поверх токопроводящей жилы выполняет роль защитной изоляции, благодаря которой возможно уменьшить расстояние между проводами на опорах ВЛЗ и снизить вероятность короткого замыкания на землю. Эти провода предусмотрены для сооружения ВЛЗ на напряжение 10, 20 и 35 кВ.

Многообразие изолированных проводов на мировом рынке, образовавшееся в результате различного подхода к выбору типов провода в конкретных энергосистемах, приводит к необходимости унификации проводов для ВЛИ, как это принято в энергосистемах разных стран, или определению рациональных областей применения изолированных проводов тех или иных марок с учетом их параметров и эксплуатационных свойств [1].

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. 3.

Проверка устойчивости изоляции СИП к воздействию экологиче-

ских факторов, приведенных в табл. 3, осуществляется в соответствии с методом, рекомендованным в HD 626 S1, ч. 2. Данный 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, упрочненных сталью в качестве несущего элемента провода. Для повышения устойчивости провода к проникновению воды в случае локального повреждения изоляции введены требования по продольной герметизации проводов [1].

Таблица 3 – Комплекс погодных воздействующих факторов для испытания СИП

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

Принимая во внимание расширение производства силовых кабелей на напряжение 10-110 кВ предусматривается создание на их основе специальных самонесущих кабелей воздушной подвески для ВЛ на эти классы напряжений (рис. 2) и создание кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Такие универсальные кабели с учетом уже имеющегося опыта их эксплуатации в отдельных энергосистемах разных стран несомненно востребованы для широкого применения [3, 4].

Замена ВЛ на кабельные линии (КЛ) в крупных городах, т.е. увеличение доли КЛ по отношению к ВЛ – несомненная тенденция развития электроэнергетики, результатом которой должно стать повышение компактности электроэнергетических объектов [2].

Направления повышения эффективности. До последнего времени широко использовались кабели с бумажномасляной изоляцией, однако сейчас наиболее перспективными являются кабели с теплоустойчивой экструдированной изоляцией (сшитый полиэтилен (СПЭ) и этиленпропиленовая резина), а также сверхпроводящие кабели.

Переход от кабелей с бумажной пропитанной изоляцией к кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена обусловлен такими преимуществами:

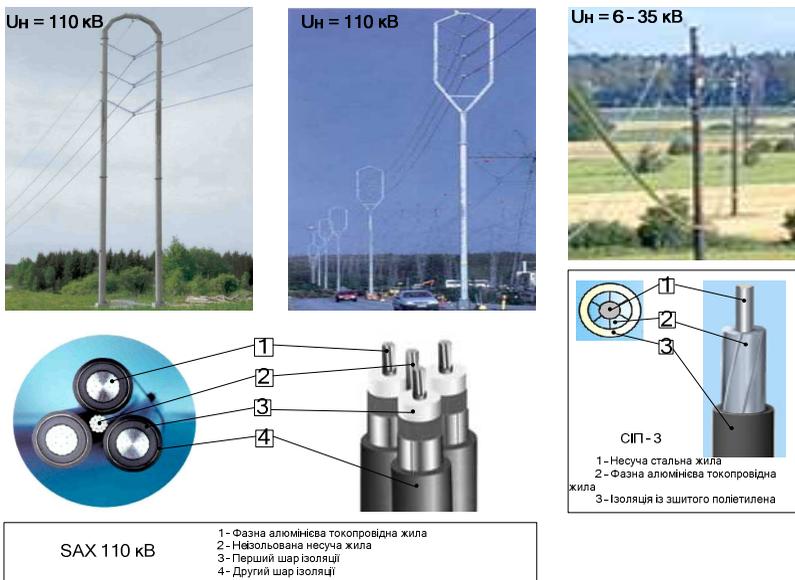


Рис. 2. ВЛ напругою 6-35 кВ і 110 кВ, виконані самонесущим кабелем повітряної підвіски. Конструкція кабелів для ВЛ даних класів напруги

високої пропускної здатності; низьким вагою, меншим діаметром і радіусом вигибу; більш високою надійністю; можливістю прокладки на складних трасах; відносно низькою собівартістю прокладки. Використання кабелів з ізоляцією з шитого поліетилену замість інших кабелів з полімерною ізоляцією дозволяє збільшити допустимі температури нагріву жил кабелів при робочому тоці до 90°C і до 250°C при токах короткого замикання (рис. 3).



Рис. 3. Кабель з ізоляцією з шитого поліетилену

К іншим перспективним напрямкам по підвищенню ефективності передачі електричної енергії можна віднести газоізовані лінії (ГІЛ), де повітря, азот або інший газоподібний діелектрик знаходиться при надвисокому тиску. Такі лінії цілес-

образны в больших городах или на подходах к ним, а также для подстанционных связей.

Относительная диэлектрическая проницаемость газа близка к единице – в результате погонная емкость примерно в 3-4 раза меньше, чем у обычных кабелей и, соответственно, значительно меньше и потери. Поэтому ГИЛ можно применять для передачи энергии на достаточно далекие расстояния.

ГИЛ, как правило, прокладываются в тоннелях. В настоящее время в мире реализовано более 500 проектов ГИЛ (рис 4.) [4]

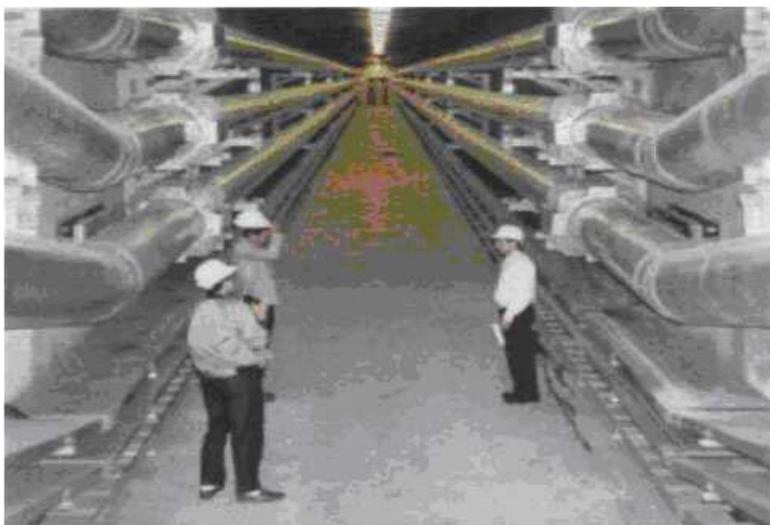


Рис. 4. Элегазовый токопровод на напряжение 550 кВ (Westboro, США)

Рассмотрение вопроса по повышению эффективности передачи электрической энергии должно быть комплексным, поскольку электрические сети являются неотъемлемой частью электроэнергетической системы в целом. Линии электропередачи являются составляющей электрических сетей, поэтому их модернизацию целесообразно рассматривать вместе с подстанциями. В области подстанционного оборудования электрических сетей также наблюдается стремление к созданию современных компактных устройств как за счет применения новых видов изоляции и оптимизации изоляционных промежутков, так и путем комбинации отдельных высоковольтных устройств в одном корпусе.

Конструктивные решения. Наиболее известным техническим решением является применение комплектно-распределительных устройств с элегазовой изоляцией (КРУЭ), поскольку электрическая

прочность элегаза значительно превосходит электрическую прочность воздуха.

Современный уровень и технология изготовления КРУЭ позволяют с достаточной степенью надежности производить КРУЭ в общем кожухе на три фазы вплоть до напряжений 500 кВ, однако в настоящее время общепринято производство КРУЭ в общем кожухе до напряжений не более 170-220 кВ, что обеспечивает наиболее оптимальное построение подстанций.

Стремление к использованию КРУЭ объясняется следующими их достоинствами: компактностью – площадь, занимаемая КРУЭ, составляет несколько процентов от площади, требуемой для ОРУ, а объем ячейки КРУЭ более чем в 100 раз меньше объема ячейки ОРУ; высокой надежностью и безопасностью в обслуживании; стойкостью к загрязненной окружающей среде; возможностью установки в сейсмически активных и труднодоступных районах; простотой монтажа.

С целью дальнейшего увеличения компактности ОРУ наблюдается тенденция к объединению в одном герметизированном отсеке разных аппаратов, например, выключателя с трансформаторами тока, с разъединителями и заземлителями, так называемых комбинированных выключателей типа PASS (Plug And Switch System – система "присоединяй и включай") (рис. 5) [5].



Рис. 5. Устройства PASS (Plug And Switch System)

Дальнейшее повышение компактности по отношению к традици-

онной подстанции с КРУЭ (в несколько раз!) при одновременном исключении пожарной опасности, достигается путем применения силовых элегазовых трансформаторов, мощность которых достигла 300-400 МВт, а номинальное напряжение 330 кВ.

В результате, в Японии, Австралии и других странах в мегаполисах уже реализован ряд проектов полностью герметизированных и автоматизированных компактных подстанций без обслуживания – 66-362 кВ с элегазовой изоляцией (рис. 6).



Рис. 6. Полностью герметизированная элегазовая подстанция 275 кВ (Тошиба, Япония)

Представленные на рис. 6 подстанции являются наиболее безопасными, с точки зрения взаимодействия объектов подстанционного оборудования с экологическими компонентами окружающей среды. Кроме того эти подстанции являются пожаробезопасными и располагаются под землей, а это значит, что экономический эффект связан не только со значительным сокращением используемой земли, но и возможностью возведения над подстанциями многоэтажных зданий [6].

Таким образом, ссылаясь на мировой опыт по применению современных технических средств в электроэнергетической отрасли, следует, что повышение эффективности передачи электрической энергии необходимо рассматривать комплексно. Технологической основой

создания электрических сетей нового поколения и модернизации существующих электрических сетей должны стать:

- 1) компактные линии электропередачи различных классов напряжения с применением СИП и ПЗВ;
- 2) кабельные линии различных классов напряжения, выполненные кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена;
- 3) газозащищенные линии;
- 4) универсальные компактные устройства подстанционного оборудования, выполненные как за счет применения новых видов изоляции и оптимизации изоляционных промежутков, так и путем комбинации отдельных высоковольтных устройств в одном корпусе;
- 5) экологически и пожаробезопасные полностью герметизированные и автоматизированные подстанции для различных классов напряжения подземного исполнения.

Выводы. Анализируя выше представленный материал, можно сделать выводы, что для Украины, как страны с развитой инфраструктурой, внедрение современных технических средств в электроэнергетической отрасли, в частности в электрических сетях, позволит повысить эффективность передачи электрической энергии, надежность работы отрасли в целом, снизить негативное влияние электроэнергетических объектов на экологические компоненты окружающей среды, кроме этого, сократить использование земли под электроэнергетические объекты.

Список литературы: 1. *Барбаиов И.В., Черкашина В.В., Шутенко О.В.* Распределительные электрические сети / Учебно-методическое пособие для студентов специальности 7.090602 “Электрические сети и системы” и 7.090602 “Техника и электрофизика высоких напряжений заочной формы обучения Учебно-консультационного центра г. Бердянск. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2007 – 111 с. 2. Комплект нормативно-технічної документації по проектуванню, будівництву та експлуатації повітряних ліній напругою до 1 кВ з самоутримними ізолюваними проводами. – Київ, 2002. 3. <http://www.fores-sax.com>. 4. <http://www.pirellibroadband.com>. 5. <http://www.seocities.com>. 6. <http://www.freefatensonline.com>

Поступила в редколлегию 23.09.2008