

В электросетевом комплексе РФ все больше внимания уделяется внедрению инновационных решений, позволяющих сооружать воздушные линии (ВЛ) с улучшенными технико-экономическими и экологическими показателями. База для этой работы заложена в ряде документов, которыми руководствуется ОАО «ФСК ЕЭС».

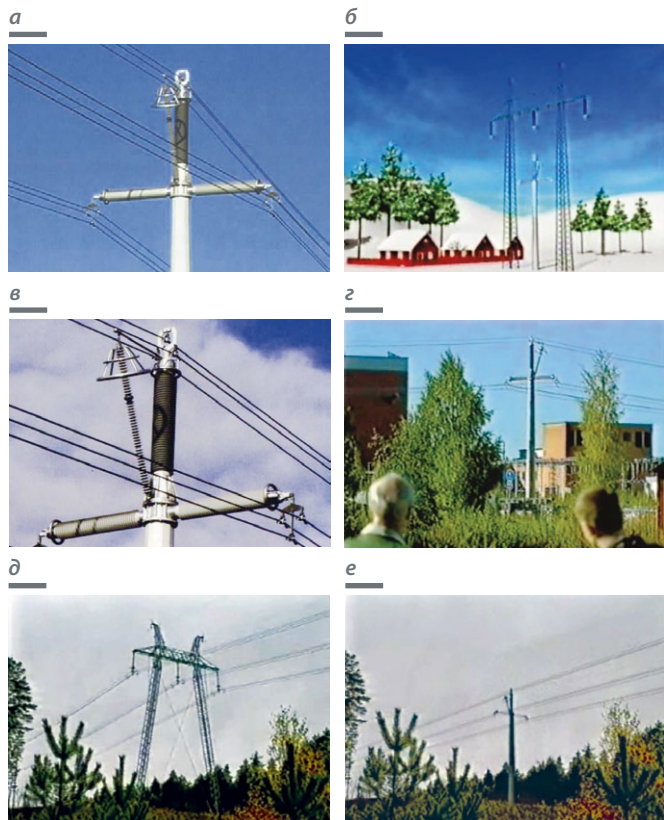
## НАДЕЖНОСТЬ, ЭКОНОМИЧНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ВЛ 110–220 кВ

### Комплекс инноваций

В Положении о технической политике ФСК ЕЭС, в разделе «Воздушные линии электропередачи», отмечается, что одна из основных задач электросетевого строительства – достижение максимальной компактности ВЛ. Этот же документ рекомендует применение для ВЛ 220 кВ полимерных консольных изолирующих подвесок.

Основные положения (Концепция) технической политики в электроэнергетике России до 2030 г. предусматривают при

• Рис. 1. КВЛ 400 кВ, выполненная АBB&STRI с использованием изолирующих траверс и узкобазовых опор



• Рис. 2. Узкобазовые быстромонтируемые опоры конструкции ЭЛСИ



создании сетей нового поколения снижение металлоемкости подстанций и ВЛ. Кроме того, в [1] говорится о необходимости при проектировании ВЛ обеспечить оптимальное использование земли и лесных угодий.

Всем этим требованиям отвечают совместные разработки компаний «ЭЛСИ Стальконструкция», «Феникс-88» и Новосибирского государственного технического университета, повышающие эффективность, экономичность и эксплуатационную надежность ВЛ 110–220 кВ. К основным инновационным решениям при сооружении ВЛ нового поколения можно отнести изолирующие траверсы (ИТ), узкобазовые быстромонтируемые опоры, новые конструкции фундаментов и линейные защитные аппараты (ЛЗА), встроенные в ИТ.

#### ПРЕИМУЩЕСТВА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Максимальная эффективность от применения изолирующих траверс будет достигаться при их внедрении совместно с узкобазовыми конструкциями опор. В этом случае применение изолирующих траверс позволит:

- снизить на 20–25% металлоемкость опор;
  - исключить обрыв провода в случае падения на него дерева, благодаря повороту траверсы при нормированной жесткости крепления ИТ к стойке опоры в продольном направлении;
  - при максимально возможном сближении проводов ВЛ снизить напряженность электрического и магнитного полей под проводами ВЛ, а также увеличить пропускную способность ВЛ за счет снижения волнового сопротивления при повышении компактности канала передачи электроэнергии.
- Применение узкобазовых быстромонтируемых опор позволит:
- выполнить более компактный в поперечном сечении канал передачи электроэнергии;
  - уменьшить ширину просеки и площадь землеотвода для опор ВЛ;
  - снизить сроки и стоимость сооружения ВЛ, что важно при сооружении ВЛ в северных районах страны с тяжелыми геолого-климатическими условиями;
  - уменьшить объем земляных работ под фундаментную часть опор ВЛ;
  - повысить грозоупорность ВЛ при прохождении трассы в лесных массивах и низинах холмистой местности за счет естественной экранировки опор ВЛ окружающим ландшафтом.

ЛЗА, встроенные в ИТ, позволят дополнительно повысить грозоупорность ВЛ и отказаться от применения грозозащитных тросов, что облегчит конструкцию опоры, исключит аварии из-за падения оборванного грозозащитного троса на провода ВЛ и снизит затраты на монтаж при сооружении ВЛ.

Новые конструкции фундаментов с использованием свай из одиночных труб, винтовых узко-широколопастных свай, а также группы свай, объединенных металлическим ростерком, расширяют возможности сооружения ВЛ в районах со сложными грунтами. Разработанные «ЭЛСИ Стальконструкцией» фундаменты с применением болтовых соединений облегчают монтаж опор в полевых условиях при низких температурах.

#### КВЛ: ЗАРУБЕЖНАЯ ПРАКТИКА

Начиная с 1960-х гг. за рубежом делались многократные попытки создания компактных ВЛ (КВЛ) с использованием ИТ. Первые конструкции не удовлетворяли требованиям эксплуатации ввиду отказов полимерных изоляторов (ПИ), обусловленных низким качеством технологии их изготовления и непониманием электрофизических процессов, приводящих к отказам ПИ [2].

**Юрий Гунгер,**  
председатель совета директоров ГК «ЭЛСИ»

**Геннадий Данилов,**  
генеральный директор ЗАО «ФЕНИКС-88»

**Юрий Лавров,**  
зав. кафедрой ТЭВН Новосибирского ГТУ

К 2000 г. за рубежом и у нас в стране были решены принципиальные вопросы новой технологии изготовления ПИ и методов их испытаний, что значительно повысило надежность эксплуатации ПИ (изолирующих траверс) и позволило сооружать КВЛ с высокими технико-экономическими показателями.

Совместное применение ИТ и узкобазовых опор позволяет создать КВЛ, привлекательность которых обусловлена следующими обстоятельствами.

- За счет сближения расположения проводов посредством их жесткого крепления на ИТ и применения при необходимости межфазных изолирующих распорок уменьшается волновое сопротивление линии и, как следствие, увеличивается предел передаваемой мощности при том же номинальном напряжении ВЛ, т.е. можно передать большую мощность по ВЛ без перехода на увеличенное сечение провода.
- КВЛ более экологичны, т.к. существенно снижается напряженность электрического и магнитного полей под и вблизи трассы ВЛ, а также уменьшается ширина просеки в лесных массивах и снижаются затраты на ее расчистку [3].
- Относительно небольшие пролеты и невысокие облегченные быстромонтируемые опоры увеличивают грозоупорность КВЛ благодаря установке ЛЗА и естественному экранированию линии окружающим ландшафтом.

В последние 10–15 лет за рубежом все чаще сооружают одноцепные и двухцепные КВЛ различных классов напряжения. Например, КВЛ 400 кВ компании ABB&STR1, трасса которой проходит по Норвегии, Швеции и Финляндии [4]. В качестве базовых промежуточных опор на этой КВЛ использованы узкобазовые опоры небольшой высоты (до 19 м). Вместо горизонтального расположения проводов с расстоянием между фазами 8 м выполнили их взаимное расположение треугольником с расстоянием между фазами 6,4 и 5,4 м (рис. 1а, б).

Для повышения грозоупорности ВЛ отказались от применения грозотроса, а на верхней (вертикальной) изолирующей траверсе установили ЛЗА (рис. 1в). При этом низкая высота опоры дополнительно повышает грозоупорность ВЛ. Жесткая фиксация провода существенно сокращает расстояние от провода до стойки опоры. Ширина лесной просеки для КВЛ значительно меньше, чем для традиционной ВЛ (рис. 1д, е), а сближение проводов привело к максимально возможной компенсации электрического и магнитного полей разноименных фаз, что позволило провести трассу КВЛ 400 кВ в населенной местности, а не в обход (рис. 1г).

#### **КВЛ: РОССИЙСКИЕ НОРМАТИВЫ**

Следует отметить, что конструктивно выполнить ВЛ нового поколения компактными, экономичными и экологически безопасными возможно при корректировке некоторых положений ПУЭ седьмого издания. В частности, необходимо оговорить возможность следующих решений:

- уменьшение расстояния между ближайшими проводами разных цепей на двухцепных опорах, например для ВЛ 220 кВ, с рекомендуемых 6 до 4,5–5 м, что вполне возможно для пролетов узкобазовых быстромонтируемых опор, составляющих 230–280 м (п. 2.5.95 ПУЭ-7);
- уменьшение расстояния в свету от провода до опоры, например для ВЛ 220 кВ, с рекомендуемых 2,5 до 1,8 м, т.е. определяющим расчетным условием здесь будут грозовые перенапряжения, а не обеспечение безопасности подъема на опору (п. 2.5.125 ПУЭ-7).

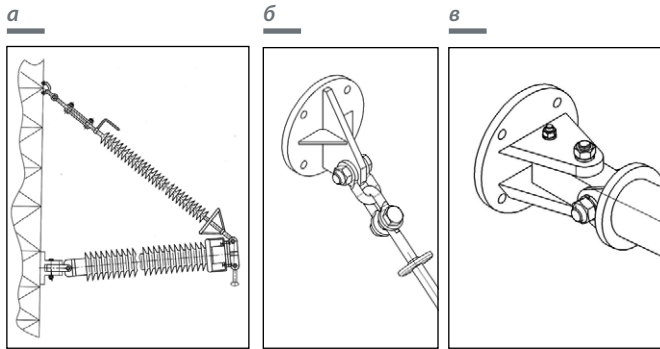
Изоляционные габариты зарубежной КВЛ 400 кВ (рис. 1) между стойкой опоры и проводом (расстояние в свету) составляют 2,8–2,9 м. Очевидно, что учет зарубежного опыта по применению сниженных изоляционных расстояний в КВЛ приведет к сооружению более эффективных отечественных компактных линий электропередачи.

#### **ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КВЛ**

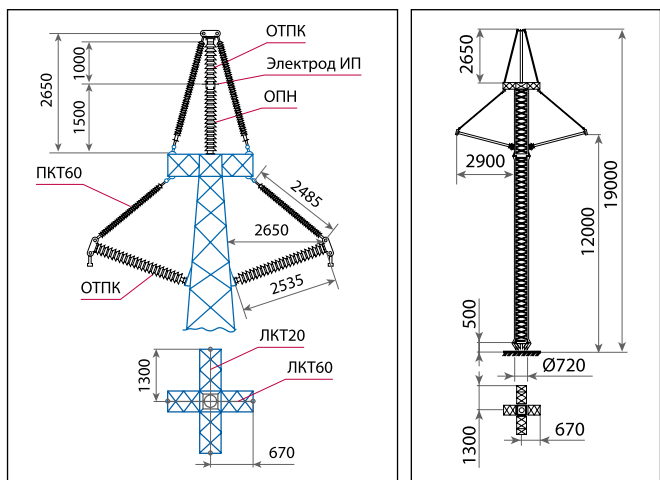
В настоящее время на российском рынке представлены несколько моделей узкобазовых опор, например, опоры из гнутого стального профиля предлагает ЭЛСИ (рис. 2).

Компания «Феникс-88» разработала первые варианты ИТ консольного типа для ВЛ 110–220 кВ с учетом требований [5]. Траверсы крепятся к стойке опоры с помощью двух специальных узлов, один из которых выполнен с фиксированной жесткостью

• Рис. 3. Эскиз конструкции ИТ (а) и узлы ее крепления к стойке узкобазовой опоры (б, в)



• Рис. 4. Одна из конструкций КВЛ 220 кВ с применением ИТ и узкобазовых опор с установкой ЛЗА на верхней фазе



крепления для обеспечения поворота траверсы вдоль оси ВЛ при обрыве провода (рис.3а). Последнее обстоятельство уменьшает материалоемкость опоры за счет исключения этого расчетного аварийного режима при ее конструировании. Расчеты показали, что при замене металлических траверс на изолирующие вес опоры типа ПС220П-1М для одноцепной ВЛ 220 кВ снижается на 24%, а при использовании ИТ со встроенными ЛЗА – на 31%.

Конструкторы компаний «ФЕНИКС-88» и «ЭЛСИ Стальконструкция» разработали узлы крепления ИТ к стойке узкобазовой опоры (рис.3б,в) и провели на полигоне ЭЛСИ механические испытания ИТ и узлов крепления.

Для повышения эффективности КВЛ 220 кВ одноцепного исполнения прорабатывается перспективная конструкция узкобазовой опоры без тросостойки, с треугольным расположением проводов на ИТ и установкой ЛЗА на верхней фазе (рис. 4).

#### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗОЛИРУЮЩИХ ТРАВЕРС

Конструктивно ИТ включают в себя элементы линейной полимерной изоляции (ПИ) – стеклопластиковый стержень и кремнийорганическую покрывку. К достоинствам ПИ относятся меньший вес, удобство транспортировки и монтажа, антивандальная устойчивость. Вместе с тем более широкому применению ПИ препятствуют: неопределенность фактического срока службы в связи с отсутствием достаточного опыта их эксплуатации в различных климатических условиях, заводские дефекты, а также сложная и длительная процедура обнаружения изолятора, поврежденного в результате электрического пробоя вдоль границы между стеклопластиковым стержнем и силиконовой покрывкой.

При этом согласно [6, 7] опыт эксплуатации ПИ с кремнийорганической оболочкой в целом признается успешным,

хотя радикального перехода от стеклянных изоляторов к ПИ ожидать не следует.

В последнее время на смену ПИ второго поколения приходят изоляторы третьего поколения с улучшенными механическими и диэлектрическими характеристиками. В связи с этим можно предположить, что в ближайшем будущем на ВЛ напряжением 110 и 220 кВ будет применяться полимерная изоляция третьего поколения.

При внутреннем пробое ПИ (по границе раздела полимерной оболочки и стеклопластикового стержня) полимерная оболочка, как правило, остается неповрежденной, что затрудняет поиск поврежденного ПИ, хотя определенные наработки в этой области есть. Например, в [8] предлагается дополнить конструкцию ПИ пиропатроном, который детонирует при протекании по изолятору тока электрического разряда и разрушает полимерную оболочку, позволяя визуально определить поврежденный изолятор. В [9] рассматривается вариант установки на ПИ шапки из специального стекла, которое при увеличении напряженности электрического поля меняет свой цвет, сигнализируя о необходимости замены ПИ.

В настоящее время ЗАО «Феникс-88» работает над созданием аппаратного беспроводного диагностического комплекса на базе сети ZigBee, который позволит осуществлять в том числе и диагностику ПИ и ИТ.

Специалисты СибНИИЭ разработали систему мониторинга разрядов молнии и грозовой обстановки на трассах ВЛ. Система автоматически регистрирует и сохраняет в базе данных информацию о ситуации на ВЛ, в т.ч. о КЗ, которые могут быть обусловлены как перекрытием линейной изоляции ВЛ при грозом поражении, так и внутренним пробоем ПИ. Точность определения места КЗ на ВЛ – один пролет (примерно 300 м).

Можно предположить, что в ближайшем будущем повышение качества ПИ и новые методы их диагностики приведут к практическому внедрению изолирующих траверс.

#### ВЫВОД

Внедрение инновационных технических решений при сооружении ВЛ должно базироваться на комплексном подходе, когда одновременно применяются новые разработки и конструктивные элементы на стадии проектирования конкретных ВЛ: узкобазовые опоры; более совершенные конструкции фундаментов; ИТ с параметрами, характерными для ПИ третьего поколения; ИТ со встроенными защитными аппаратами от грозовых перенапряжений; системы постоянного мониторинга технического состояния и обнаружения поврежденного ПИ. Такой подход позволит сооружать ВЛ напряжением 110–220 кВ с улучшенными технико-экономическими и экологическими показателями.

#### ЛИТЕРАТУРА

- СТО 56947007-29.240.55.016-2008. Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35–750 кВ: Стандарт ОАО «ФСК ЕЭС».
- Шидловский А., Шумилов Ю., Щерба А., Золотарев В. Высоковольтные полимерные изоляторы. Киев: Сучасність, 2008. 252 с.
- Голиков М. За деревьями ЛЭП не видно // Энергоэксперт. 2010. № 4.
- Nordic Utilities Develop New Compact Line Design for 400 kV // INMR Insulators News & Market Report. 2002, Vol 10, No 3. P.12–17.
- СТО 56947007-29.120.90.033-2009.Траверсы изолирующие полимерные для опор ВЛ 110–220 кВ. Общие технические требования, правила приемки и методы испытаний: Стандарт ОАО «ФСК ЕЭС».
- Арбузов Р., Овсянников А. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи. Новосибирск: Наука, 2009. 180 с.
- Горур Р. Будущее электрических изоляторов: мнение руководителей шести энергетических компаний США // Энергоэксперт, 2010, № 6. С. 50–53.
- Патент на полезную модель № 103664. Подвесной полимерный изолятор / Гунгер Ю.Р. – М., 2010.
- Gutman I. Helicopter & Ground-Based Methodologies to Detect Defective/Damaged Insulators/ INMR World Congress. Seoul, 2011, April 17–20.