

КОМПАКТНЫЕ ВЛ: КАЧЕСТВЕННО, НАДЕЖНО, ЭКОНОМИЧНО!

Макарова Л., «Форэнерго»

Изучая опыт зарубежного линейного строительства, можно отметить, что строительство ВЛ в компактном исполнении становится все более востребованным (рис. 1). За рубежом это направление успешно развивается уже несколько десятилетий.

В данной статье попробуем проанализировать, насколько актуально сегодня для нашей страны строительство компактных ВЛ, и готова ли промышленность России сегодня к их строительству.

В начале следует ответить на главный вопрос: чем определяется целесообразность строительства компактных ВЛ? Прежде всего следующими факторами и потребностями:

1. Стесненными условиями крупных мегаполисов, курортных зон, присутствием лесов первой группы (это леса заповедников с ценными породами деревьев, национальных, городских парков и зеленых зон), где по тем или иным причинам необходима прокладка ВЛ.

2. Экономическим эффектом: в классе напряжений 35–220 кВ строительство компактных ВЛ дешевле, чем строительство ВЛ в традиционных габаритах. То есть экономическая составляющая ориентирует заказчика на современные, уже распространенные в мире технические решения.

Особенно положительный экономический эффект проявляется при строительстве ВЛ на земле с высокой стоимостью, где велика плата за площадь отчуждаемой территории. Понятно, что площадь землеотвода под ВЛ согласно современных нормативов значительно сократилась. Но кроме этого, есть еще коэффициент эффективности использования земель, который определяется как

отношение передаваемой линией мощности к площади занимаемой ею земли. Соответственно, чем меньше расстояние между крайними фазами, тем более узкую полосу земли занимает линия, тем, при неизменной мощности, выше коэффициент использования отчуждаемых земель.

Еще одним преимуществом компактных ВЛ является их конструкция, которая позволяет повысить надежность, безопасность и пропускную способность ВЛ.

Что касается пропускной способности: величина натуральной мощности определяется, в большей



Рис. 1.

мере, волновым сопротивлением линии, уменьшение которого может достигаться следующими решениями:

- увеличением радиуса поверхности провода;
- увеличением количества проводов в фазе;
- уменьшением расстояния между фазами.

Поскольку увеличить радиус провода без увеличения сечения мы не можем (для этого нужны полые провода), то на практике применимы только два последних решения.

Какие же конкретные результаты компактизации линий можно получить на практике?

В табл. 1 приведено сравнение габаритов линий по ширине (расстояние между крайними фазами) в «традиционном» и в компактном исполнении.

Таблица 1

Характеристики компактности ВЛ	
<i>Расстояние между крайними проводами на ВЛ 35 кВ</i>	
Типовая опора ПЗ5-2В	Компактная ВЛ
4–6,6 м	1,5–1,8 м
<i>Расстояние между крайними проводами на ВЛ 110 кВ</i>	
Типовые опоры П110-3В и ПУС110-2	Компактная ВЛ
6,3–9,2 м	3,0 м
<i>Расстояние между крайними проводами на ВЛ 220 кВ</i>	
Типовая опора П220	Компактная ВЛ
7–12,8 м	5,0 м

Результаты, как говорится, налицо! В зависимости от напряжения ВЛ уменьшение габаритов возможно более чем в 2 раза, а в некоторых случаях — более чем в 3 раза!

За счет каких конструктивных решений ВЛ достигается такое уменьшение габаритов линий?

В их число входят: новые стойки, новые узлы крепления и изоляции проводов, новые провода и современные решения по молниезащите ВЛ. В качестве стоек целесообразно применение стальных многогранных, но возможно использование стоек и из композитных материалов.

Провода — изолированные или защищенные изоляцией для ВЛ 0,4–35(110) кВ. Это позволяет значительно сблизить провода в данных классах напряжений, поскольку им не страшно кратковременное схлестывание. Для более высоких напряжений сближение проводов осуществляется с применением полимерных межфазных распорок, которые, например, серийно уже много лет изготавливает отечественное предприятие ЗАО «Инста».

Узлы крепления и изоляции проводов в компактных ВЛ — это опорные линейные полимерные и фарфоровые изоляторы в классе напряже-

ний до 35 кВ и изолирующие траверсы различной конструкции в классе напряжений сегодня уже до 330 кВ.

Необходимо отметить, что выбор конкретных материалов и конструктивных решений, применяемых для строительства компактных ВЛ, конечно же зависит от класса напряжения этих ВЛ.

Для сетей 0,4 кВ решение задачи повышения безопасности и компактизации линий уже давно найдено за счет применения самонесущих изолированных проводов (СИП), в настоящее время широко распространенных во многих странах мира и в нашей стране (рис. 2). Здесь немаловажно отметить, что практически весь необходимый объем проводов СИП, применяемых сегодня при линейном строительстве в России, изготавливается отечественными кабельными заводами, хотя еще до середины 2000-х годов ситуация была прямо противоположной: в подавляющем большинстве проводов были импортными. Медленнее (из-за большой номенклатуры изделий) развивался процесс импортозамещения в линейной арматуре для проводов СИП. Большие успехи в этом направлении достигнуты на ЗАО «МЗВА». Этот завод уже закрывает до 15% общего объема потреб-



Рис. 2.

ности страны в линейной арматуре для проводов СИП. При этом выпускаемая заводом арматура ни в чем не уступает импортным аналогам, значительно выигрывая в цене.

Ключевым элементом компактных ВЛ в классах напряжения 10–330 кВ являются новые узлы крепления и изоляции проводов, поэтому на них стоит остановиться подробнее.

Для ВЛ класса напряжения 10–20 кВ выбор новых изоляционных конструкций обусловлен переходом от подвесной изоляции (рис. 3) на изоляционные узлы с фиксированным креплением фаз с использованием новых высоконадежных опорных линейных изоляторов (рис. 4), например, типа ОЛСК, ОЛФ или изолирующих траверс консольного типа с высокими характеристиками по электрической и механической прочности, что позволяет значительно сократить высоту и другие габариты опоры ВЛ при неизменном габаритном пролете линии. Кстати, стойку в этом случае можно выбирать менее высокую и прочную, что требует меньших затрат.

Ранее целесообразность применения подвесной изоляции при строительстве магистральных ВЛ 6–10 кВ определялась необходимостью повышения надежности этих ВЛ. Прежде всего это происходило за счет перехода на более надежную подвесную изоляцию относительно штыревой.

Конструкция штыревого узла изоляции, с точки зрения низкого уровня выдерживаемых механических (рис. 5) и электрических (рис. 6) нагрузок, действительно не обеспечит высокой надежности ВЛ. Решением этой проблемы является применение опор с использованием опорных линейных изоляторов типа ОЛСК (рис. 7) или ОЛФ (рис. 8) с изгибающим моментом 12,5 кН, с улучшенными механическими и электрическими характеристиками.

Опорные линейные изоляторы типа ОЛСК и ОЛФ, в отличие от штыревых, являются «непробиваемыми» при любых формах воздействий напряжений и поэтому обеспечивают надежность ВЛ на порядок выше, чем штыревые изоляторы. Такой изолятор может быть перекрыт при грозовых перенапряжениях на ВЛ, но не «пробит», как это происходит со штыревыми изоляторами. Это обусловлено толщиной изолирующей детали на изоляторах ОЛФ и ОЛСК, которая составляет не менее 160 мм, в то время как на штыревых изоляторах типа ШФ-20 она составляет не более 40 мм (толщина стенки изолятора, отделяющей провод от металлического штыря траверсы внутри изолятора). Крепление к металлоконструкциям опор



Рис. 3. ВЛ 10 кВ с подвесной изоляцией (Россия)

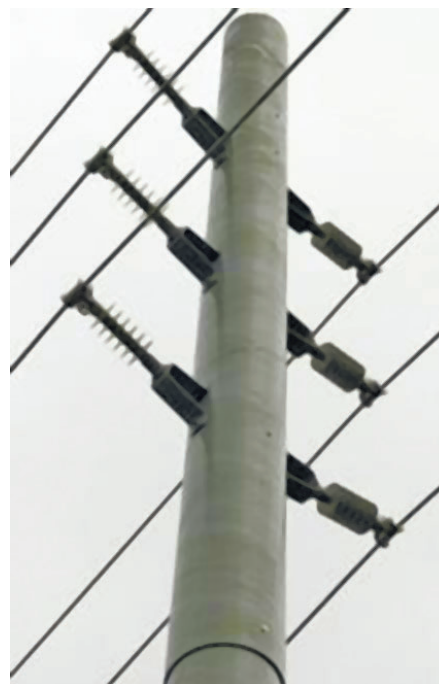


Рис. 4. ВЛ 24 кВ с опорной линейной изоляцией (Канада)



Рис. 5. Низкая механическая прочность штыревого узла изоляции

(траверсам) осуществляется при помощи болтового соединения М24.

Применение подвесной изоляции неизбежно вело к увеличению габаритов линий. Условием, определяющим габариты, является соблюдение расстояния от проводов до заземленных частей подвески или тела опоры с учетом отклонения проводов при воздействии ветровой нагрузки, а также расстояние от нижнего провода до земли и расстояние между фазами. Наглядно уменьшение габаритов линии при переходе с подвесной изоляции на новую опорную изоляцию демонстрирует (рис. 9). В обоих вариантах исполнения ВЛ эти расстояния соблюдены, но во втором случае линия имеет значительно меньшие габариты! Это же касается ВЛ, выполненных и в одноцепном варианте.

Таким образом, повторяясь, следует сказать, что сегодня для повышения надежности линий 6–10(20) кВ уже нет необходимости применять подвесную изоляцию. Более 5 лет в России серийно выпускаются опорные линейные изоляторы и изолирующие траверсы веерного и консольного типа в классе напряжений 6–35 кВ, преимущества которых мы уже подробно рассмотрели выше.

В одноцепном исполнении ВЛ 6–10(20) кВ имеется очень интересное применение изолирующих траверс ТВИ веерного типа, которые обеспечивают:

- «непробиваемость» изоляторов в составе ТВИ при всех видах электрических воздействий;



Рис. 6. Сквозной пробой штыревого изолятора



Рис. 7.

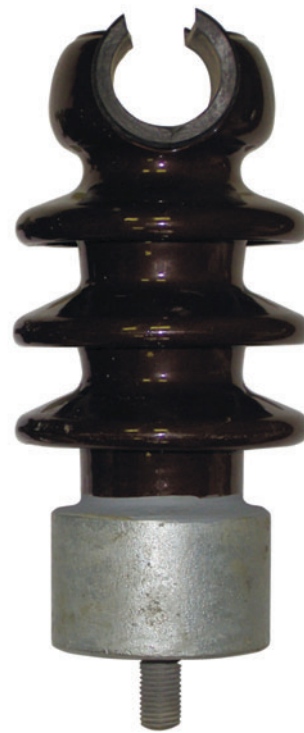


Рис. 8.

- высокую механическую прочность узла крепления и изоляции проводов на опоре за счет исключения из его конструкции наиболее слабых элементов: штырей и колпачков;
- компактность изделия, удобство транспортировки;
- снижение трудоемкости монтажа ВЛ.

Целесообразно применение изолирующих траверс типа ТВИ на 6–10(20) кВ совместно с межфазными изолирующими распорками типа РМИ или проводами, защищенными изоляцией СИП-3. Межфазные расстояния на ВЛ с такими проводами могут быть снижены всего до 400 мм, так как эти провода, благодаря наличию защитной изоляции, не боятся кратковременных схлестываний в пролетах — межфазных замыканий не возникает.

Совместное применение в этом классе напряжений ВЛ проводов, защищенных изоляцией, изолирующих траверс типа ТВИ или изоляторов типа ОЛСК и ОЛФ с новыми устройствами грозозащиты ВЛ типа УЗПН позволило уже сегодня в России иметь действующие ВЛ, ничем не уступающие лучшим мировым аналогам. Проектируются и строятся они по типовому проекту (шифр 1.10.МИ.08), разработанному в 2008 году.

Применение же в этом классе ВЛ новых стоек: стальных многогранных или композитных, делает

их линиями очень высокой надежности и красоты с точки зрения эстетики. В случае применения стальных многогранных опор это потребует тех же материальных затрат, что и линия на железобетонных опорах. Интересный пример строительства ВЛЗ-10 кВ приводится в презентации завода «Гидромонтаж», который является изготовителем стальных многогранных стоек.

Для строительства ВЛЗ 10 кВ в Тверской области (рис. 10) вместо железобетонных были применены стальные многогранные опоры без заглубления (на винтовом фундаменте). Это позволило выиграть в высоте и увеличить пролет, уменьшив количество опор втрое! Уменьшение количества опор позволило в 4 раза уменьшить количество завозимых грузов, в 2 раза снизить трудоемкость работ. В итоге строительство такой линии удалось выполнить практически в бюджете линий на железобетонных опорах.

Совместное применение стальных многогранных опор, защищенных изоляцией проводов СИП-3, изолирующих траверс типа ТВИ и современных устройств грозозащиты типа УЗПН позволяют заказчику практически за одинаковые средства получить линию принципиально иного уровня качества и надежности (рис. 11).

Для ВЛ 35 кВ применение проводов, защищенных изоляцией, изолирующих траверс или новых опорных линейных изоляторов типа ОЛСК и ОЛФ обеспечивает возможность строительства ВЛ 35 кВ в габаритах, близких к габаритам сегодняшних ВЛ 10 кВ. То есть уже сегодня можно строить ВЛ 35 кВ практически по цене ВЛ 10 кВ, но с возможностью передавать по ним мощность, большую в 2,5 раза.

Сегодня в России есть все для этого: специальные провода, изоляторы, арматура, стойки, устройства грозозащиты. Промышленность готова. Есть даже проекты реальных объектов, выполненные в инициативном порядке. Нет лишь нормативов для этих линий и политического решения, необходимого для разработки и утверждения этих нормативов.

Еще более удивительно то, что первые ВЛЗ 35 кВ в габаритах ВЛ 10 кВ на территории бывшего СССР появились не в России (где, как уже говорилось, имеются все необходимые условия), а в Киргизии (рис. 12).

Для ВЛ от 110 до 220 кВ в качестве решений, позволяющих уменьшить габариты линии, применяются новые стойки и изолирующие траверсы совместно с межфазными изолирующими распорками.

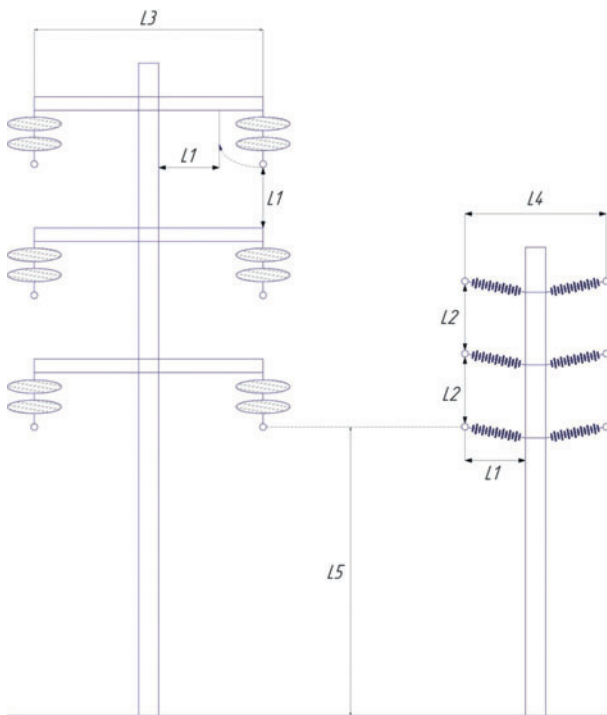


Рис. 9.



Рис. 10.



Рис. 11.

Изолирующие траверсы обеспечивают фиксированное положение проводов относительно стойки опоры, что позволяет значительно увеличить габаритный пролет при неизменной высоте стойки и делает возможным уменьшение количества опор, изоляторов, арматуры, объемов строительных работ и завозимых грузов. Либо при сохранении габаритного пролета линии (расстояния между опорами) остается возможность значительно сократить габариты стойки. В обоих случаях очевиден экономический эффект (рис. 13).



Рис. 12.

При сближении фаз и установке межфазных изолирующих распорок одновременно решаются проблемы пляски и виброзащиты проводов.

Изолирующие траверсы значительно повышают надежность и безопасность ВЛ, обеспечивая двойное крепление проводов: изолятором консоли и изолятором оттяжки.

Резюмируя конструктивные и эксплуатационные преимущества применения изолирующих траверс, можно выделить несколько позиций, за счет которых оптимизируется комплектация ВЛ:

- *Увеличение высоты подвеса проводов на длину гирлянды.* Достижимый эффект: увеличение длины габаритного пролета и сокращение количества опор ВЛ и, как следствие, снижение материалоемкости и трудоемкости строительства ВЛ (рис. 13).

- *Уменьшение высоты расположения траверс на опоре.* Достижимый эффект: уменьшение высоты стойки при неизменном габаритном пролете и снижение материалоемкости ВЛ.

- *Уменьшение межфазных расстояний.* Достижимый эффект: повышение пропускной способности ВЛ и уменьшение полосы отчуждения земли.

- *Взаимное резервирование изоляторов консоли и тяги.* Достижимый эффект: повышение надежности и безопасности ВЛ.

- *Применение полимерных изоляторов.* Достижимый эффект: повышение надежности в условиях загрязнения и уменьшение массы опоры.

Надежность освоенных в отечественном производстве современных изолирующих траверс в классах напряжений до 220 кВ обеспечивается тем, что в данных траверсах применяются полимерные изоляторы, изготавливаемые только по технологии 3-го поколения и имеющие высочайшую надежность.

ЗАО «Инста» — одно из трех крупнейших отечественных производителей полимерных изоляторов. За 7 лет изготовлено и передано в эксплуатацию более 1-го миллиона полимерных изоляторов на различные классы напряжения и механической нагрузки. Это пока единственное отечественное предприятие, выпускающее полимерные подвесные изоляторы только 3 поколения (повышенной надежности), которые отличаются следующими преимуществами:

- наиболее высоким уровнем испытательных и разрядных напряжений;

- заходом цельнолитой кремнийорганической оболочки на оконцеватели, что обеспечивает 100%-ную герметизацию и долговечность изоляторов за счет полного исключения клеевых швов из конструкции (рис. 14);

- уникальной технологией изготовления, гарантирующей отсутствие скрытых повреждений стержня после опрессования оконцевателей;

- наилучшей антикоррозионной защитой оконцевателей с использованием технологии термодиффузионного оцинкования.

Следует отметить, что в разработке изоляторов траверс, выпускаемых сегодня на ЗАО «Инста», принимало самое активное участие ООО «Специальное конструкторское технологическое бюро по изоляторам и арматуре», которое, начиная



Рис. 13.

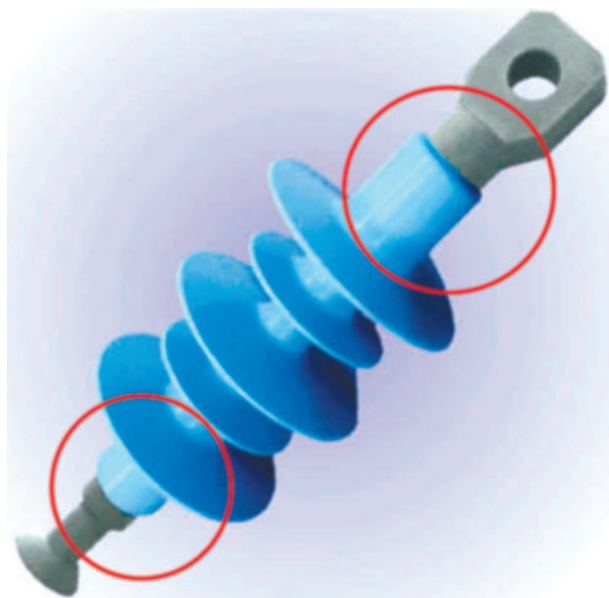


Рис. 14.

со времен СССР, было и остается главным идеологом внедрения полимерной изоляции и непосредственно изолирующих траверс в энергетике России. Передовые разработки ООО «СКТБ» в области полимерных изоляторов и изолирующих траверс отмечены «Золотой медалью» в рамках главной отраслевой выставки «Электрические сети России-2009».

Мало кто знает, что первые прообразы изолирующих траверс были разработаны в Советском Союзе еще во второй половине 80-х годов. Уже тогда была понятна перспективность их применения при линейном строительстве. Изолирующие траверсы и изоляторы «Инста» — это последний уровень достижений «СКТБ», в котором учтен весь предыдущий мировой и российский опыт!

Основные вехи и достижения ЗАО «Инста» в создании отечественных изолирующих траверс:

2006–2007 гг. — разработка и освоение в производстве изолирующих траверс веерного типа на класс напряжений 10–35 кВ;

2006–2007 гг. — разработка и освоение в производстве изолирующих траверс консольного типа на класс напряжений 10–35 кВ;

2009 г. — участие в разработке стандарта ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.120.90.033-2009 — «Траверсы изолирующие полимерные для опор ВЛ 110–220 кВ. Общие технические требования, правила приемки и методы испытаний»;

2009 г. — разработка межфазных изолирующих распорок на класс напряжений 10–35 кВ;

2008–2012 гг. — разработка и освоение в производстве изолирующих траверс консольного типа на класс напряжений 110–220 кВ;

2010–2012 гг. — разработка и освоение в производстве межфазных изолирующих распорок на класс напряжений 110–220 кВ;

2011 г. — начало работ по разработке изолирующих траверс консольного типа на класс напряжений 330 кВ.

Некоторые конструктивные решения изолирующих траверс производства ЗАО «Инста» для ВЛ 110–220 кВ приведены на рис. 15 и 16.

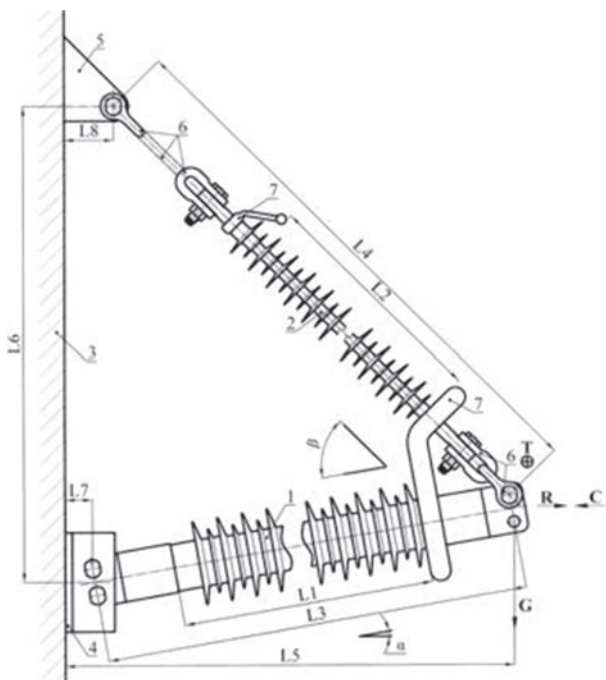


Рис. 15. Траверса изолирующая консольная с тягой фиксированная (ТКФУн-GTRC-3)

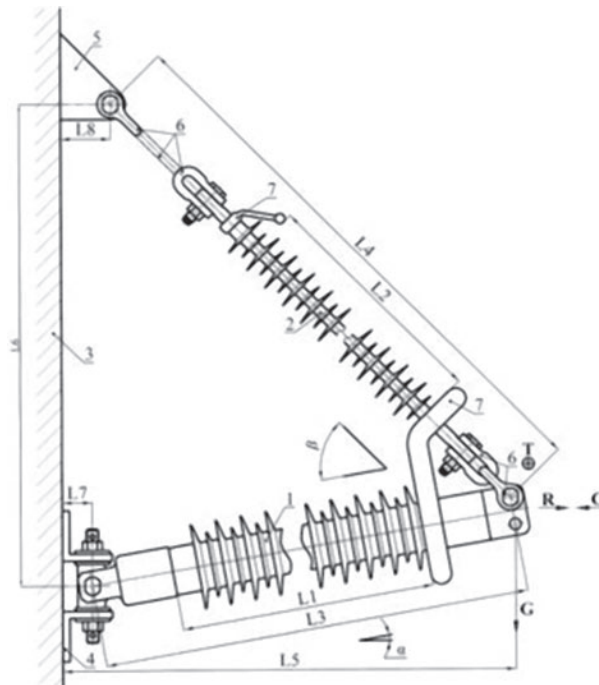


Рис. 16. Траверса изолирующая консольная с тягой поворотная (TKПУн-GTRC-3)

U — класс напряжения: 110, 150 и 220 кВ; G — вертикальная нагрузка на изгиб: 2–120 кН; T — горизонтальная нагрузка на изгиб в плоскости, перпендикулярной плоскости траверсы: 2–20 кН; R — горизонтальная нагрузка на растяжение в плоскости траверсы: 2–120 кН; C — горизонтальная нагрузка на сжатие: 2–70 кН; $З$ — допустимая степень загрязнения: 1–4

Современными изделиями производства ЗАО «Инста», относящимися к неотъемлемым элементам компактных ВЛ 110–220 кВ, являются распорки межфазные изолирующие типа РМИ. Распорки предназначены для изолированной фиксации проводов воздушных линий электропередачи. Они значительно ограничивают амплитуду колебаний и обеспечивают сохранение необходимых изоляционных расстояний между фазами в критических точках.

Межфазные распорки производства ЗАО «Инста» обладают теми же отличительными особенностями и характеристиками, что и полимерные изоляторы 3-го поколения, имеют более широкий диапазон применения относительно существующих диаметров проводов и межфазных расстояний.

На рис. 17 и 18 представлены межфазные изолирующие распорки производства ЗАО «Инста» для ВЛ 10–35 кВ, а на рис. 19 для ВЛ 110–220 кВ.

Отказ от применения в конструкции ВЛ грозозащитного троса еще больше позволяет сократить габариты ВЛ. В этом случае для обеспечения молниезащиты ВЛ целесообразным становится применение на ВЛ линейных ОПН.

Первый возможный вариант интегрирования ОПН в компактную ВЛ — это горизонтальная установка ОПН (рис. 20). При таком решении ОПН устанавливается ниже и параллельно консольному изолятору траверсы. Используется специальный ОПН с усиленной заделкой нижнего фланца. Свободный конец ОПН соединяется через отделитель с проводом (отделитель устанавливается у провода).

Второй вариант — это подвеска ОПН параллельно земле. ОПН устанавливается параллельно консольному изолятору траверсы. Один из концов ограничителя перенапряжения шарнирно закрепляется на опоре ниже консольного изолятора траверсы. Второй конец ОПН через отделитель крепится к элементам линейной арматуры, используемой для крепления провода. В данном случае представлен подвес ОПН с помощью поддерживающего зажима (рис. 21).

Рассматриваются варианты совместного использования грозотроса и ОПН для молниезащиты ВЛ. Они рекомендуются для использования в районах с плохо проводящими грунтами. Является более экономичным вариантом, чем установка полноразмерных ОПН. В этом случае подразумевается горизонтальная установка разрядника. Его особенность в том, что происходит установка не ОПН, а разрядника наподобие УЗПН (производства ЗАО «МЗВА»), как сегодня это делается в классе

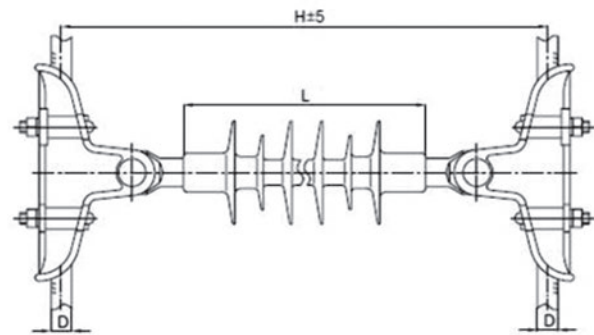


Рис. 17.



Рис. 18.

напряжений ВЛЗ 6–35 кВ. Специальный укороченный ОПН (с опорным фланцем) устанавливается жестко параллельно консольному изолятору траверсы. Искровой промежуток организуется между свободным концом ОПН и поддерживающим зажимом провода с применением специальных электродов (рис. 22).

Компактные ВЛ в России, состояние дел

На момент написания статьи имеется уже многолетний положительный опыт применения

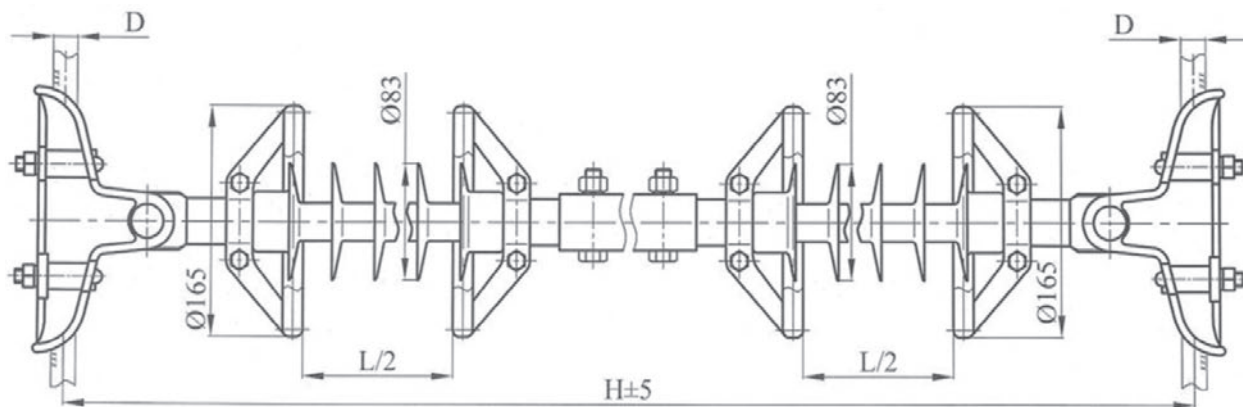


Рис. 19.



Рис. 20.

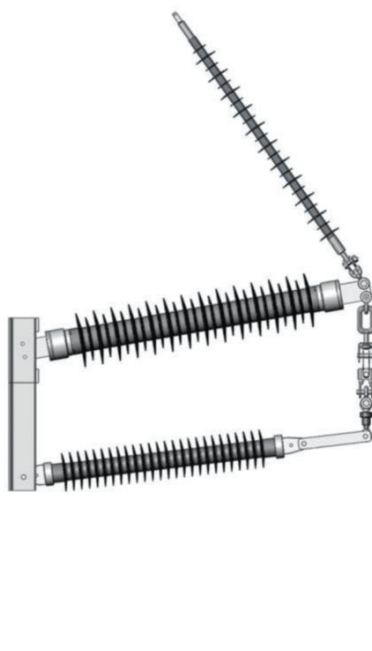


Рис. 21.



Рис. 22.

компактных стальных многогранных стоек при линейном строительстве. Завершена аттестация в ОАО «ФСК ЕЭС» композитных опор пока зарубежного производства.

Серийно выпускаются провода СИП на напряжение 0,4–35 кВ, ведутся испытания проводов СИП на напряжение 110 кВ.

Освоены в серийном производстве опорные линейные изоляторы типа ОЛФ и ОЛСК, изолирующие траверсы веерного (рис. 23) и консольного типа на напряжение 10–35 кВ, в том числе с линейными ОПН (рис. 24). С 2007 г. накоплен

значительный положительный опыт применения таких изоляторов и траверс на вдольтрассовых линиях электроснабжения ОАО «Газпром» и других ВЛ.

Разработаны изолирующие траверсы на напряжение 110–220 кВ. Проводятся широкомасштабные испытания. Произведена значительная часть подготовки производства для серийного выпуска. Ведется работа по созданию универсального стенда испытаний траверс на различные механические нагрузки, прикладываемые в разных направлениях, в том числе на резкий сброс нагрузки, резкие



Рис. 23.

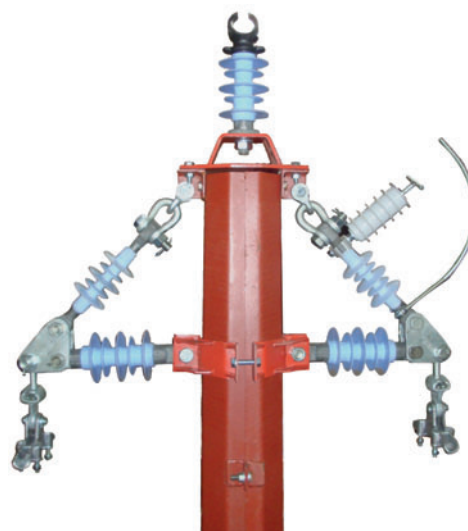


Рис. 24.

ударные нагрузки (рис. 25). В 2012 году ЗАО «Инста» начинает поставки изолирующих траверс и межфазных изолирующих распорок для компактных ВЛ 110–220 кВ на объекты линейного строительства ОАО «ФСК ЕЭС» и ОАО «Холдинг МРСК».

В соответствии со «Схемой и программой развития Единой энергетической системы России на период 2010–2016 гг.», утвержденной приказом № 333 от 15.07.2010 г. Министерства энергетики РФ, рассмотрено несколько энергообъектов, на которых целесообразно применение компактных линий электропередачи. Это вселяет надежду, что скоро в России появятся компактные ВЛ высокой надежности и безопасности, соединяющие в себе все самые современные достижения отечественной промышленности в области линейного строительства.



Рис. 25.