

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВОЗДУШНЫХ И КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ СРЕДНЕГО И ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Лавров Ю.А.

В докладе рассматривается необходимость комплексного рассмотрения всех факторов на стадии проектирования линий электропередачи различного конструктивного исполнения. Показано, что только при системном подходе на стадии проектирования можно будет обеспечить экономичность, необходимую эксплуатационную надежность и экологичность различных ЛЭП среднего и высокого напряжения.

Постановка задачи.

В настоящее время в отечественной практике сооружения воздушных и кабельных линий электропередачи среднего и высокого напряжения все больше внедряется современных технических решений, повышающих технико-экономические показатели каналов передачи электроэнергии различного конструктивного исполнения. Например при сооружении ВЛ все более широко применяются подвесная полимерная изоляция, новые конструкции опор, проводов и линейной арматуры, а также технические решения, повышающие грозоупорность ВЛ и т.д. Для кабельных линий (КЛ) основное новшество заключается в плавном переходе от кабелей с пропитанной бумажной изоляцией среднего напряжения (СН) и маслонаполненных кабелей высокого напряжения (ВН) на кабели с пластмассовой изоляцией (КПИ) из сшитого полиэтилена (СПЭ). Многолетние исследования, проводившиеся на кафедре «Техника и электрофизика высоких напряжений» Новосибирского государственного технического университета, показали, что для принятия *на стадии проектирования* оптимальных решений по обеспечению экономичности и высокой эксплуатационной надежности ВЛ или КЛ, необходимо по возможности учитывать все факторы (порой взаимоисключающие друг друга), которые позволят найти «золотую серединку» между себестоимостью сооружения электропередачи, издержками на ее эксплуатацию и надежностью электроснабжения потребителей.

Практика показывает, что иногда в силу «информационного голода» проектировщики не успевают отслеживать последние научно-технические достижения в электросетевом строительстве и в силу этого упускают некоторые моменты, которые сказываются в конечном итоге на технико-экономических показателях проектируемой ВЛ или КЛ.

Цель настоящего доклада обозначить основные факторы, которые при комплексном (системном) подходе необходимо принимать во внимание на стадии проектирования ВЛ или КЛ. При этом в сжатом формате рассмотрим факторы при проектировании ВЛ, поскольку они практически все рассматриваются в настоящем сборнике докладов, и более развернуто остановимся на основных факторах, которые необходимо принимать во внимание при проектировании КПИ среднего и высокого напряжения.

Проектирование ВЛ

Рациональный набор проектных решений с точки зрения экономичности, высокой эксплуатационной надежности и экологичности при сооружении ВЛ ВН может быть обеспечен в том числе и при рассмотрении следующего комплекса факторов.

- Применение новых конструкций опор.

В настоящее время наряду с традиционными опорами решетчатого (башенного типа) устанавливаемых на четырех фундаментах, могут применяться высокотехнологичные узко-

базовые опоры – стальные многогранные опоры (производства завода «Гидромонтаж») и стальные многогранные облегченные опоры (производства «ЭЛСИ Стальконструкция»). Эти опоры имеют определенные преимущества по отношению к опорам традиционных конструкций и могут повысить технико-экономические показатели сооружаемых ВЛ. Здесь необходимо лишь в зависимости от климатических и грунтовых условий прохождения трассы ВЛ на основе технико-экономического обоснования выбрать оптимальный вариант конструкции опоры.

- Повышение грозоупорности ВЛ.

Наряду с традиционными мерами повышения грозоупорности ВЛ (подвеска грозозащитных тросов, обеспечение требуемого угла грозозащиты, уменьшение сопротивления заземляющего устройства опоры) рекомендуется рассматривать при проектировании ВЛ и такие меры как применение:

- опор с пониженной высотой подвеса проводов без грозозащитных тросов (например, опор типа ПО110ПВ производства «ЭЛСИ Стальконструкция»), которые за счет эффекта экранировки земли и леса повышают на 40-50% грозоупорность ВЛ;

- дифференциальной линейной изоляции на двухцепных ВЛ 110 и 220 кВ, что позволяет «спасти» одну цепь от отключения при обратных перекрытиях с тела опоры на провод при попадании молнии в опору или грозотрос;

- подвесных разрядников или ОПН (устанавливаемых на опорах) и позволяющих рассеивать энергию молнии на защитных аппаратах облегченного типа на нескольких соседних опорах от места грозового поражения ВЛ;

- опор без грозозащитных тросов, поскольку на практике встречаются случаи, когда их применение не эффективно.

Последнее обстоятельство обусловлено следующим. С одной стороны грозотрос является молниеприемником и в случае маленьких значений сопротивления заземляющего устройства (ЗУ) опоры эффективность грозотроса не вызывает сомнений. С другой стороны грозотрос является распределенным молниеприемником, что увеличивает вероятность грозового поражения ВЛ и при высоких значениях сопротивления ЗУ опоры (например в районах с высоким удельным сопротивлением грунта) приводит к увеличению количества обратных перекрытий с тела опоры на провод. Таким образом, если трасса проектируемой протяженной ВЛ проходит на локальных участках в районах с плохопроводящими грунтами и низкой грозовой интенсивностью, то может быть на стадии проектирования ВЛ следует предусмотреть применение на этих участках ВЛ опор без грозотросов. На практике имели место случаи, когда эксплуатация снимала грозозащитные тросы и грозоупорность ВЛ повышалась. Кроме того, снятие грозотроса косвенно повышает надежность эксплуатации ВЛ, поскольку с течением времени из-за коррозионных процессов и при больших гололедных нагрузках происходят обрывы тросов с последующим иницированием коротких замыканий на ВЛ.

- Применение линейной полимерной изоляции

Основной тенденцией в области применения линейной изоляции остаётся всё более широкое внедрение полимерных материалов. Использование полимерных изоляционных подвесок несомненно имеет определенные преимущества. Вместе с тем относительно небольшая практика их применения показала, что при определенных специфических условиях эксплуатации полимерные стержневые изоляторы могут проявлять изоляционные свойства ниже по отношению к стеклянным изоляторам. В частности, при прохождении трассы ВЛ в районах с высокой влажностью (например, выпадение росы в утренние часы) или при сочетании высокой влажности и загрязнения в атмосфере происходили перекрытия по поверхности изолятора, что обусловлено вероятно недостаточной адгезией полимерного материала либо невысоким качеством изготовления полимерного изолятора. Тем не менее, поскольку на практике эти случаи имели место, может быть стоит на стадии проектирования ВЛ предусмотреть локальное применение на специфических участках по трассе ВЛ стеклянных изоляторов.

- Применение новых типов проводов.

В настоящее время на отечественных ВЛ ВН применяют провода типа АС, которые имеют определенную нижнюю границу по температуре эксплуатации и механическим характеристикам.

Вместе с тем в практике электросетевого строительства за рубежом все более широко применяются новые конструкции проводов, которые позволяют повысить не только их срок эксплуатации, но и технико-экономические показатели ВЛ.

В частности, например провод типа Aero-Z® позволяет: повысить пропускную способность ВЛ, за счет большего сечения при том же удельном весе, а также снизить нагрузки на опоры за счет лучших аэродинамических свойств и низкого обледенения и налипания снега. Применение же высокопрочной стальной проволоки с противокоррозионным покрытием типа Bezinal® позволяет эксплуатировать провод при температурах до 300-350⁰С.

Очевидно, что отмеченные и другие типы новых проводов имеют более высокую себестоимость, вместе с тем при проектировании конкретных ВЛ их применение может быть экономически целесообразным или технически необходимым вариантом.

- Электромагнитная совместимость ВЛ с биосферой.

Проблема электромагнитной совместимости ВЛ с биосферой на практике встает в двух: при пересечении ВЛ с большой пропускной способностью водоемов и проведении ремонтных работ под напряжением. В первом случае в водной среде может индуцироваться плотность тока, превышающая реакцию возбуждения рыб, обитающих, нерестящихся или мигрирующих в этом водоеме. Во втором случае – магнитное поле в зоне проведения ремонтных работ на ВЛ под напряжением может превышать допустимые нормы напряженности магнитного поля для человека.

Таким образом уже в составе проектов ВЛ ВН, основанных на системном подходе, должны рассматриваться, в том числе, и вопросы экологической обстановки по трассам ВЛ, пересекающих водоемы и при необходимости следует предпринять ряд организационно-технических мер по снижению электромагнитного влияния ВЛ на обитателей пересекаемых водоемов, в частности: сокращение расстояния между фазами ВЛ с использованием изолирующих междуфазных распорок в зоне пересечения водоема, применение соответствующей фазировки проводов различных цепей на многоцепных ВЛ, прокладка дополнительных проводов в водоеме [7]. .

- Выбор расчетных нагрузок на опоры ВЛ.

Существующая в настоящее время нормативно-техническая документация регламентируют определять расчетные нагрузки на опоры и провода ВЛ с учетом так называемых «коэффициентов запаса» - коэффициентов по надежности и региональных коэффициентов. Значения этих коэффициентов проектировщики часто выбирают максимально возможными, что ведет к неоправданному удорожанию строительства ВЛ за счет увеличения механической прочности опоры (ее металлоемкости) или уменьшения габаритных пролетов. Вместе с тем «запас» уже был произведен, поскольку одновременно с введением этих коэффициентов в ПУЭ седьмого издания «сдвинули вверх на одну ступеньку» районы по гололедной и ветровой нагрузкам.

Есть некоторая надежда на возврат к рациональному проектированию ВЛ в случае перехода от существующей методики выбора расчетных нагрузок на провода и опоры, на предлагаемую в настоящее время методику определения климатических нагрузок на основе вероятностного и полувариантного подхода с учетом экономических составляющих при отказах. В этом случае опоры должны быть запроектированы с достаточной надежностью (способностью сохранять заданные эксплуатационные качества в течение определенного срока службы), с учетом степени ответственности проектируемого объекта. Однако и в последнем случае от проектировщика также будет зависеть оптимальность принятых решений, поскольку вместо детерминистских «коэффициентов запаса» он перейдет к выбору коэффициентов, которые будут определять вероятность безотказной работы ВЛ в течение принятого срока эксплуатации.

Проектирование КЛ.

К основным преимуществам кабелей нового поколения с изоляцией из СПЭ следует, прежде всего отнести более высокие значения пропускной способности, легкость монтажа, сниженные эксплуатационные затраты и отсутствие жидких компонентов. Однако относительно высокая стоимость КПИ требует как на стадии выбора *конструкции* кабеля и *проектирования* кабельных линий, так и на стадии их *эксплуатации* системного подхода, при котором необходимо по возможности учесть все факторы, влияющие на экономичность, эксплуатационную надежность, а в ряде случаев и экологичность КЛ. Поскольку эти факторы взаимосвязаны (иногда с отрицательной обратной связью), то наряду с оптимальным выбором конструкции кабеля (адаптированного к конкретному проекту) для принятия рациональных проектных решений следует находить некоторый компромисс между отдельными факторами.

Кабельные линии среднего напряжения (10, 20 и 35 кВ).

Опыт эксплуатации кабелей с пропитанной бумажной изоляцией (КПБИ) в отечественных распределительных кабельных сетях (РКС), а также мониторинг различных аномальных режимов эксплуатации в городских кабельных сетях Барнаула и Новосибирска показал, что электрический пробой изоляции при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) в 60–70% случаев самоликвидируется и эксплуатационный персонал эти аварийные режимы не фиксирует. Высокая «живучесть» КПБИ обусловлена спецификой диэлектрической среды. В рассматриваемом случае перемежающаяся дуга горит в замкнутом объеме изоляции в месте возникновения ОЗЗ и в зависимости от величины емкостного тока замыкания на землю, скорости восстановления электрической прочности в месте горения дуги и восстанавливаемого напряжения (зависящего от параметров сети) аварийный режим может самоликвидироваться.

Иная картина будет иметь место при внедрении в распределительную сеть КПИ. При электрическом пробое твердого диэлектрика кабель не сможет восстановить свою электрическую прочность, и любое ОЗЗ будет приводить к устойчивому аварийному режиму. В этом случае эксплуатационному персоналу каждое возникновение ОЗЗ в изоляционной системе КЛ необходимо будет устранять.

Таким образом, наряду с неоспоримыми преимуществами КПИ имеют существенный недостаток, заключающийся в отсутствие эффекта самозалечивания СПЭ-изоляции. Именно это обстоятельство необходимо принимать во внимание, заблаговременно предусмотреть и создать такие условия эксплуатации КПИ, которые минимизировали бы их каскадный выход из строя в будущем.

В [1-4] были рассмотрены особенности проектирования и эксплуатации КПИ в РКС СН. В этих работах было акцентировано внимание, во-первых, на необходимости учета: одножильной конструкции КПИ, отсутствие эффекта «самозалечивания» СПЭ и способа заземления нейтрали. Во-вторых, основная задача проектировщика заключается в нахождении той «золотой серединки», когда спроектированная КЛ будет иметь требуемую надежность эксплуатации, а также фактическую наработку не меньше регламентированного срока службы кабеля при минимальных стоимостных показателях КЛ, обусловленных себестоимостью кабельного изделия и эксплуатационными издержками.

Кабельные линии высокого напряжения (110, 220 и 500 кВ).

Из-за ограниченного формата доклада рассмотрим кратко для КПИ ВН некоторые факторы матрицы, представленной на рис. 1.

- ***Схемы применения КПИ ВН.***

В процессе эксплуатации изоляционная конструкция КПИ ВН подвергается воздействию теплового поля (в нормальном режиме и в режимах перегрузки), а также воздействию электрического поля промышленной частоты и высокочастотных перенапряжений. Уровень и форма последних зависит от схем применения КПИ, которые условно можно разделить на следующие группы:



Рис.1 Факторы, обуславливающие экономичность надежность эксплуатации и экологичность КЛ ВН

- использование КПИ 110-220 кВ в качестве кабельной вставки между ВЛ и КРУЭ (ОРУ) с длиной КЛ от 0,5 до 3,0 км (рис.2,а) с последующим электроснабжением потребителей посредством РКС СН;

- применение КПИ 220-500 кВ длиной в единицы километров для глубокого ввода мощности в города мегаполисы с последующим электроснабжением потребителей через РКС ВН и СН (рис.2,б);

- применение КПИ 220-500 кВ длиной 1-2 км для вывода мощности на ГЭС со стороны нижнего бьефа на КРУЭ 220-500 кВ, расположенного на верхнем бьефе станции (рис.2,в);

- при пересечении ВЛ 500 кВ коридора, в котором проходят несколько цепей ВЛ 110-220 кВ, в этом случае вместо применения высоких переходных опор в месте пересечения используется кабельная вставка длиной 0,3 - 0,5 км (рис.2,г);

- применение в городских РКС ВН кабельных линий 110-220 кВ длиной 5-15 км, осуществляющих связь между генерирующими источниками (ТЭС, ТЭЦ) и КРУЭ (рис.2,д).

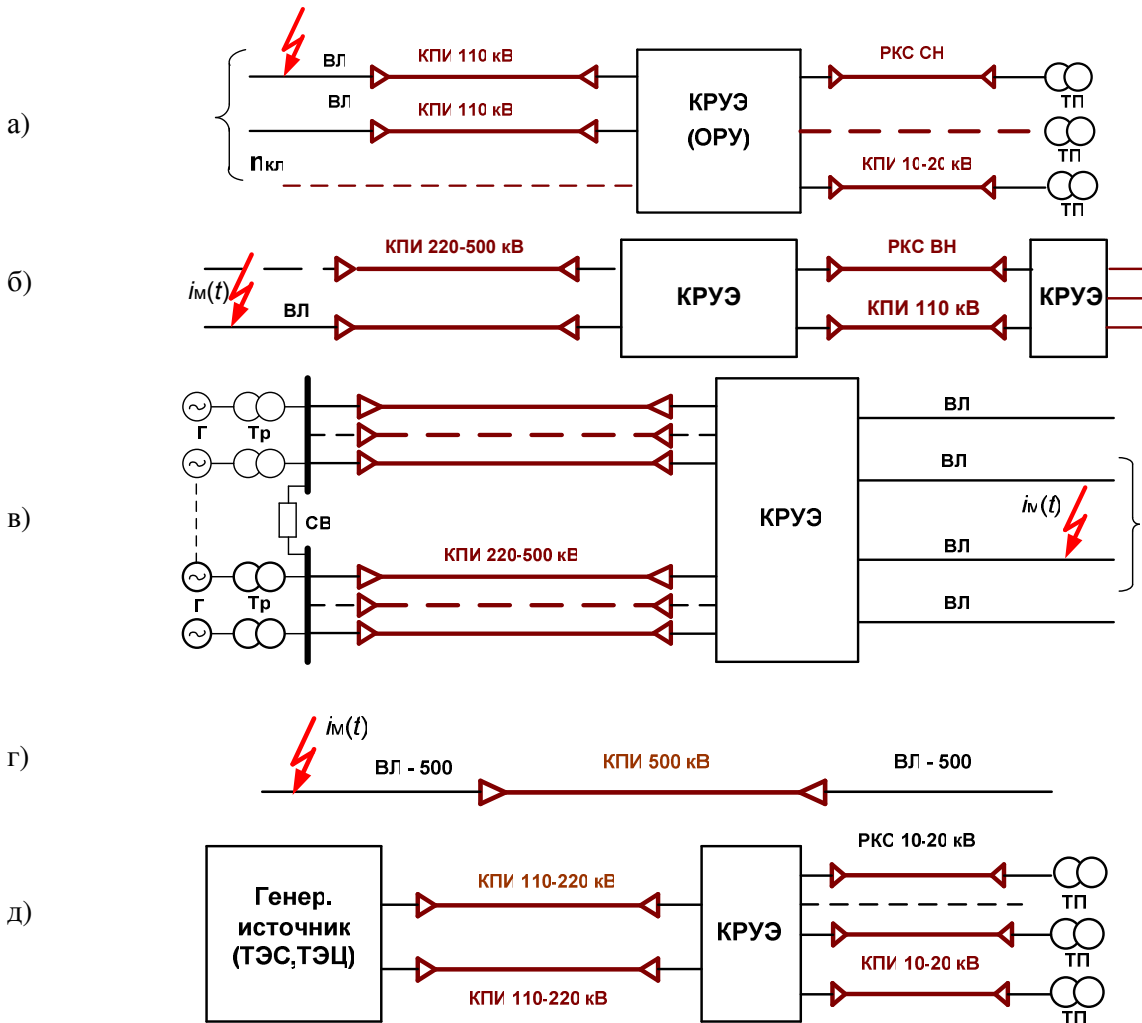


Рис.2 Типовые схемы применения КПИ 110, 220 и 500 кВ

• Ограничение грозовых перенапряжений, воздействующих на КПИ ВН.

Технико-экономическая координация изоляции КПИ ВН, связанная с приведением изоляции к «норме», должно осуществляться с учетом современных концепций оценки грозоупорности объектов электроэнергетики. В частности для правильного выбора защитных характеристик ОПН необходимо принимать во внимание: расстояние места грозового поражения ВЛ от кабельной вставки; схему применения КПИ; случайный характер ориентировки канала лидера разряда молнии в системе «грозотрос - провода ВЛ - земля»; реальную форму волны тока молнии; динамические свойства вольтамперной характеристики ОПН при воздействии крутых волн.

Следует отметить, что для повышения эксплуатационной надежности и срока службы КПИ ВН наряду с ограничением грозовых перенапряжений желательно уменьшить частоту их воздействия и снизить крутизну импульсных волн напряжения. Для достижения этих целей на стадии проектирования могут быть предусмотрены по отдельности или в сочетании мероприятия (оптимальные для конкретного проекта):

- в зависимости от схемы применения установка ОПН по концам (или с одной стороны) кабельной вставки;
- применение на двухцепных ВЛ 110-220 кВ дифференциальной линейной изоляции;
- на подходе к кабельной вставке;
- включение в рассечку провода ВЧ-заградителя (иногда с параллельным

подключением ОПН);

- применение продольных защитных устройств с высокоомной оболочкой из ферромагнитного материала [6];

- применение на нескольких ближайших опорах сниженного сопротивления заземляющего устройства;

- замена провода типа АС на провод типа СА (провод повышенной механической устойчивости, который применяется для ВЛ в горных условиях - внутри провода алюминиевый сердечник, сверху - стальные проволоки);

- применение подвесных разрядников (ОПН).

- Тепловой режим эксплуатации КПИ.

Экономичность, эксплуатационная надежность и фактический срок службы КПИ ВН зависят в том числе и от теплового режима эксплуатации кабелей, который определяется способом прокладки кабелей, условиями теплоотвода, схемой заземления экранов, наличием или отсутствием транспозиции экранов, количеством рядом расположенных цепей, наличием внешних источников тепла и локальных «специфических мест» с худшими условиями теплоотвода и т.д. Из перечисленного перечня факторов остановимся на двух, которые в настоящее время «не совсем отработаны» в нормативном и методическом планах: выбор конструкции кабеля (по токовой нагрузке) и применение специальных схем соединения экранов.

На первой стадии выбора конструкции кабеля (сечения токопроводящей жилы) расчет теплового режима эксплуатации КЛ по токовой нагрузке осуществляется приближенно с использованием так называемых поправочных коэффициентов, учитывающих специфику грунта, прокладки и т.д. После выбора конструкции кабеля должен осуществляться уточненный расчет теплового режима КЛ на основе методики МЭК 60287 (при необходимости численных расчетов методом конечных элементов). Как правило, уточненный расчет теплового поля с учетом всех «нюансов» в качестве технической поддержки осуществляют сервисные технические службы предприятий-изготовителей кабелей, либо квалифицированные специалисты. Однако на практике встречаются случаи, когда выбор конструкции кабеля и условий его прокладки ограничивается стадией инженерных «прикидок», что не совсем правильно.

Необходимо на стадии проектирования также оценивать схему эксплуатации КПИ. Например, при выполнении кабельной вставки между двухцепной ВЛ и тупиковой подстанцией (когда нет резервного электроснабжения) при выходе из строя одной фазы КЛ на период проведения ремонтных работ вторая цепь КЛ вынуждена будет работать в перегруженном по току режиме. Для исключения этого варианта в рассматриваемом случае электроснабжения потребителя необходимо обязательно предусмотреть прокладку резервного кабеля.

- Специальные схемы соединения экранов КПИ.

Для повышения пропускной способности КПИ ВН применяют специальные схемы заземления и соединения экранов, которые позволяют убрать дополнительный источник тепла в изоляционной кабельной конструкции за счет устранения протекания продольных токов по экранам кабеля. К реализации этой идеи необходимо подходить осторожно с позиции разумной достаточности, поскольку целесообразность выбора схемы заземления экранов по концам КЛ, одностороннего заземления (рис.3,а) или многократного одностороннего заземления (рис.3,б) или же транспозиции экранов (рис.4) зависит от многих взаимосвязанных факторов: передаваемой мощности, сечения токопроводящей жилы, способа прокладки, условий теплоотвода, наличия принудительной вентиляции, длины КЛ и других. На практике также встречались случаи, когда на относительно коротких участках КЛ (длиной до 1,5-2 км) и при относительно небольшой передаваемой мощности проектировалась не просто схема одностороннего заземления экрана (что требовало минимальных финансовых вложений), а выбиралась схема транспозиции экранов, где помимо увеличенных стоимостных показателей КЛ дополнительно появлялась проблема защиты оболочек в местах их специального соединения от импульсных воздействий. Поэтому целесообразность выбора той или иной схемы соединения экранов должна проводиться совместно с тепловым расчетом КЛ на основе технико-экономического обоснования, поскольку может оказаться экономически выгодней несколько

увеличить сечение токопроводящей жилы (или перейти с алюминиевой на медную) по сравнению со случаем применения транспозиции экранов, где необходимо предусматривать по трассе КЛ обслуживаемые колодцы для узлов транспозиции, разделительные (транспозиционные) муфты, защитные аппараты типа ОПН для оболочек и т.д.

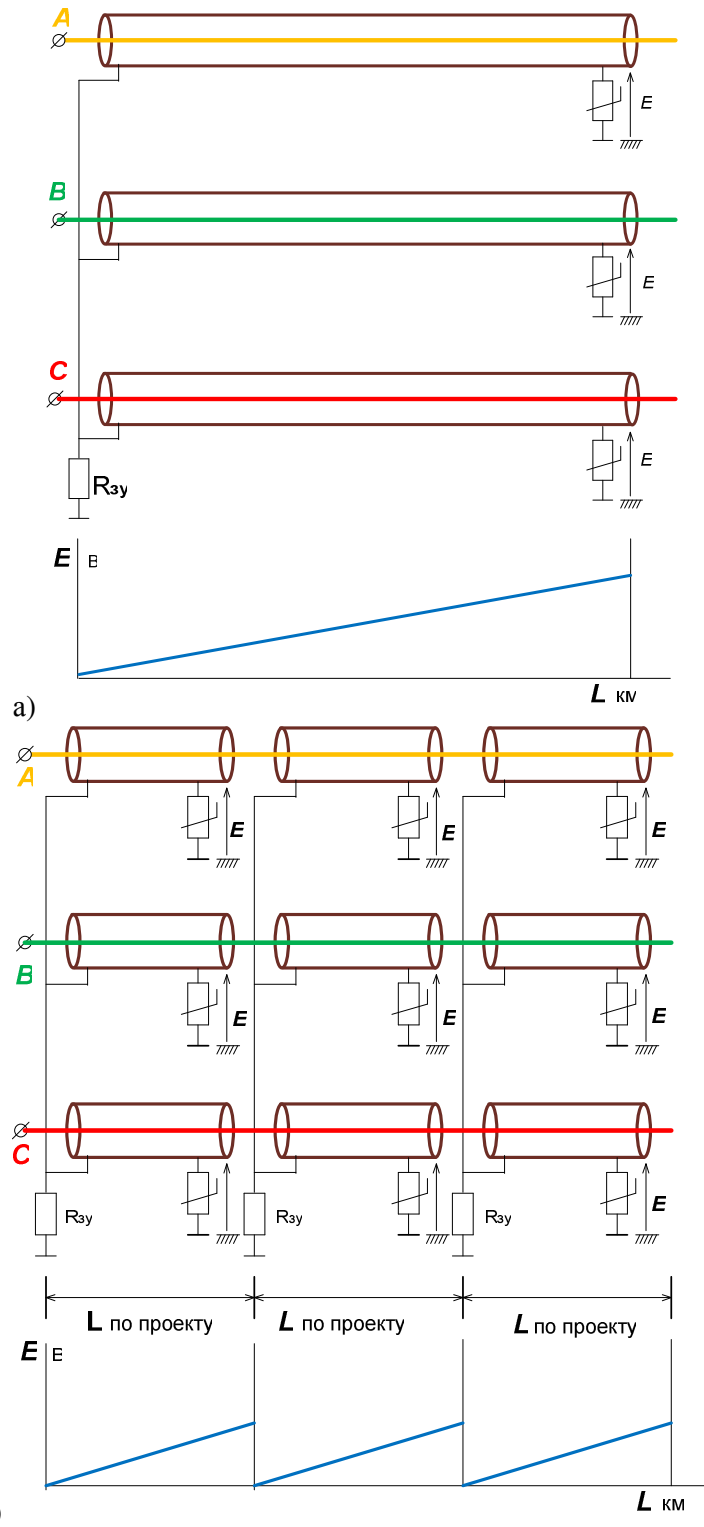


Рис.3 Варианты одностороннего заземления (а) и многоразрывного одностороннего заземления (б) экранов в КЛ и распределение наведенного напряжения по длине экранов

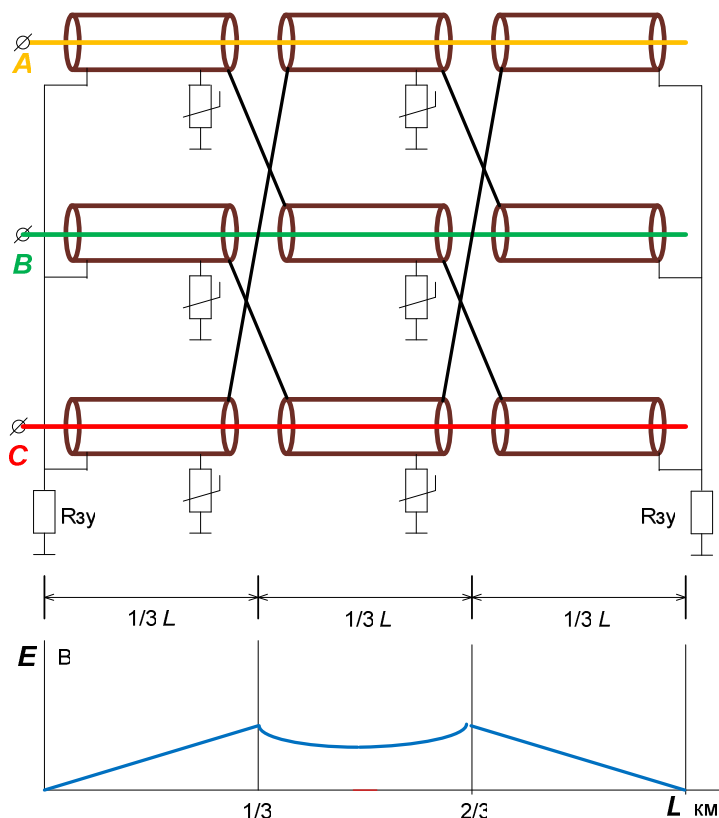


Рис.4 Один цикл транспозиции экранов на КЛ и распределение наведенного напряжения по длине экрана

- Мониторинг теплового режима эксплуатации КПИ ВН.

Наряду с выше отмеченными моментами на надежность эксплуатации и срок службы КПИ ВН также влияют условия их эксплуатации: например, фактические (которые могут не соответствовать проектным) условия теплового воздействия на КЛ в нормальном режиме и режимах перегрузки, высокочастотные перенапряжения, а также периодичность, форма и уровни напряжений при профилактических испытаниях.

Для получения фактических тепловых условий эксплуатации КЛ (позволяющих прогнозировать его остаточный ресурс и при необходимости оперативно изменять токовую нагрузку) необходимо применять современные системы мониторинга в режиме реального времени на основе оптоэлектронных устройств, оптоволокну (распределенного температурного датчика, встроенного непосредственно в силовую кабель, либо прикрепленного к кабелю снаружи) и удобных (наглядных) для диспетчера сервисных программ. При этом результаты постоянного контроля температурной кривой на поверхности кабеля вдоль трассы КЛ должны записываться в электронную базу данных с момента ввода КЛ в работу и до конца ее эксплуатации. К основным задачам непрерывного мониторинга следует отнести:

- определение и фиксация случаев превышения номинальной рабочей (а также максимальной допустимой) температуры кабеля по времени и месту вдоль трассы КЛ;
- своевременное (превентивное) предотвращение токовых перегрузок КЛ;
- прогнозирование допустимой нагрузки при достижении кабелем максимальной расчетной температуры;
- на основе превентивных мер создание оптимальных токовых нагрузок КЛ, обеспечивающих непрерывность электроснабжения потребителей и снижение вероятности возникновения аварийных событий;
- прогнозирование остаточного ресурса кабеля на основе комплексной диагностики технического состояния КЛ.

Если в результате измерений и проверок окажется, что фактическая температура жил кабелей выше допустимого значения или обнаружатся участки с неудовлетворительными условиями охлаждения, то необходимо выполнить следующие мероприятия: улучшить вентиляцию в туннелях и каналах; засыпать траншеи грунтом с более высокой теплопроводностью; уменьшить токовую нагрузку на кабель до необходимой величины.

К сожалению, существующие зарубежные системы мониторинга в настоящее время довольно дороги и не каждое предприятие может себе финансово позволить их установить. Вместе с тем определение локальных перегревов и превышение допустимой температуры кабеля (с возможностью передачи информации в наглядном виде на диспетчерский пульт) может быть осуществлено, например, при использовании отечественной системы мониторинга типа ПТС-1000 (фирмы «Седатэк»), которая имеет меньшую себестоимость и по техническим характеристикам не уступает зарубежным аналогам.

- Мониторинг высокочастотных перенапряжений.

Следует особо обратить внимание на необходимость мониторинга не только теплового режима эксплуатации КЛ, но и воздействующих в процессе эксплуатации высокочастотных перенапряжений, которые могут быть обусловлены набеганием с ВЛ на кабельную вставку грозовых импульсов напряжения или коммутациями элегазовыми выключателями в схемах «ВЛ-КЛ-КРУЭ». Информация о фактическом количестве и уровне перенапряжений позволит в совокупности с показателями теплового мониторинга и диагностики изоляционной системы КПИ прогнозировать остаточный ресурс СПЭ-изоляции.

- Комплексная и интеллектуальная диагностика КПИ ВЛ.

Для получения полной картины о фактической нагрузке кабеля необходимо проводить комплексную диагностику технического состояния изоляционной системы КПИ, когда наряду с информацией о тепловом режиме эксплуатации КЛ проводится анализ основных количественных характеристик диагностируемых параметров (напряжения зажигания частичных разрядов (ЧР), выделяемая ЧР энергия, $\text{tg}\delta$, C , $R_{\text{из}}$). В идеале эксплуатационный персонал интересуется: максимально достоверный прогноз остаточного ресурса кабеля; рекомендации по дальнейшим условиям эксплуатации КЛ; сроки проведения следующего диагностического обследования, а также периодичность профилактических испытаний и их параметры (уровень, частота и длительность приложенного напряжения). К сожалению эти рекомендации пока невозможно корректно разработать, поскольку в настоящее время для СПЭ-изоляции нет достаточно полной ясности по выявлению признаков дефектов, их пороговых (количественных) значений, а также алгоритмов по оценке динамики деградации изоляционной системы. Вместе с тем научный прогресс в области микро и макро-исследований по выявлению основных факторов, снижающих электрическую прочность СПЭ-изоляции позволяет надеяться, что в ближайшем будущем будут разработаны формализованные критерии оценки фактического состояния изоляционной системы кабеля, представляющие собой физико-математические модели исправного (работоспособного без ограничений), дефектного (работоспособного с ограничениями) и аварийного (требующего плановой замены) кабеля.

- Экологические аспекты проектирования КЛ ВЛ.

Вопросы электромагнитной совместимости КЛ ВЛ с биосферой возникают, когда прокладываются кабели по дну водоема и в кабельных сооружениях. В первом случае с помощью рационального выбора конструкции кабеля, способов прокладки отдельных фаз КЛ и режимов ее эксплуатации можно снизить до допустимой величины для ихтиофауны интенсивность электромагнитного поля вдоль подводной трассы КЛ [2]. Во втором случае, когда прокладываются в кабельных тоннелях многоцепные КЛ 110-220-500 кВ с большими токовыми нагрузками в 1,5-2,5 кА, необходимо обеспечить нормируемый предельно допустимый уровень по напряженности магнитного поля для эксплуатационного и ремонтного персонала [5]. Это достигается за счет рационального сближения отдельных фаз КЛ (с учетом теплового режима ее эксплуатации) и оптимальной взаимной «фазировки» кабелей многоцепных КЛ. В рассматриваемом случае итеративно проводится численный расчет теплового и магнит-

ного полей и при необходимости выдвигаются требования к ограничению по времени пребывания персонала вблизи трассы многоцепных КЛ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обеспечение необходимой эксплуатационной надежности, экономичности и экологичности воздушных и кабельных линий электропередачи может быть достигнуто только при *системном подходе* с максимальным учетом на стадии проектирования все факторов, определяющих технико-экономические показатели каналов электропередачи различного конструктивного исполнения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кадомская К.П., Кандаков С.А., Лавров Ю.А. Кабели 6-10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена - требования к прокладке // "Новости электротехники". С-Петербург, 2005., № 6(36)
- [2] Кадомская К.П., Кандаков Ю.А., Лавров Ю.А. Подводные кабельные линии. Экологические аспекты проектирования // Новости электротехники.- 2006.-№ 4(40)
- [3] Лавров Ю.А. Кабели 6-35 кВ с пластмассовой изоляцией. Особенности проектирования и эксплуатации. Часть I // Новости электротехники.- 2006, №6(42)
- [4] Лавров Ю.А. Кабели 6-35 кВ с пластмассовой изоляцией. Особенности проектирования и эксплуатации/ Часть II // Новости электротехники.- 2007.- №1(43)
- [5] СанПиН 2.2.4.1191-03. Гл. 3.4: Предельно допустимые уровни электромагнитного поля частотой 50 Гц.
- [6] Колобов В.В. Теоретические и экспериментальные исследования высокочастотных перенапряжений на высоковольтных подстанциях энергосистем и разработка защитных мероприятий// Автореферат на соиск. уч. ст. к.т.н., ГОУ ВПО «СПГПУ», г. СПб, 2008, 23 с.
- [7] Шевченко С.С. Обеспечение на стадии проектирования электромагнитной совместимости воздушных линий электропередачи с ихтиофауной пересекаемых водоемов. Сборник настоящих трудов конференции.