

# НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ПЕРОКСИДНОЙ СШИВКИ

*Комментарии к ТКП 611-2017 (33240)*

Со 2 октября введен в действие технический кодекс установившейся практики 611-2017 (33240) «Силовые кабельные линии напряжением 6–110 кВ. Нормы проектирования по прокладке кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена пероксидной сшивки» (ТКП 611). ТКП 611 распространяется на кабельные линии вновь сооружаемых и реконструируемых объектов энергетического строительства, выполненных с применением силовых кабелей напряжением 6–110 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена пероксидной сшивки.



**В.Ф. КУДРЯШОВ,**  
главный специалист  
технического отдела  
РУП «Белэнергосетьпроект»

## Актуальность вопроса

Необходимость разработки ТКП 611 была обусловлена ростом производства силовых кабелей напряжением 6–110 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена пероксидной сшивки (КСПЭ), широким их применением на объектах электросетевого строительства Республики Беларусь, а также отсутствием ТНПА в области технического нормирования и стандартизации по прокладке КСПЭ.

Ранее для всех типов кабелей работы по канализации электроэнергии регламентировались ПУЭ (6-е издание, раздел 2 «Канализация электроэнергии») и СНиП 3.05.06-85 (раздел 3, подраздел «Кабельные линии»). Однако положения этих документов морально устарели, не отвечают современным требованиям по сооружению КЛ и неприменимы для проектирования одножильных КСПЭ 6–110 кВ.

Основной целью ТКП 611 является повышение эффективности, надежности и безопасности строительства и эксплуатации электрических сетей напряжением 6–110 кВ, выполняемых с применением КСПЭ и имеющих технические характеристики, как правило, превосходящие технические характери-

стики кабелей (аналогов) с иным исполнением изоляции.

Новый технический кодекс регламентирует требования и нормы по сооружению КЛ с применением КСПЭ напряжением 6–110 кВ. Документ определяет классификацию и основные параметры КСПЭ, а также устанавливает нормативные требования к проектированию КЛ с их применением, в том числе:

- выбор КСПЭ в зависимости от места прокладки;
- применение КСПЭ в электрических системах с разными режимами работы сети;
- технико-эксплуатационные характеристики КСПЭ;
- выбор номинального сечения токопроводящей жилы (ТПЖ) и экрана;
- заземление КЛ;
- способы заземления экранов одножильных КСПЭ;
- защита от перенапряжений;
- область применения с учетом условий прокладки и конструкции;
- технологии, применяемые при прокладке КЛ;
- монтаж кабельной арматуры;
- электромагнитная совместимость.



**И.И. ДУЛЬ,**  
инженер отдела  
проектирования энергосистем

В технический кодекс в качестве приложений включены требования: по конструкции кабелей; контролю при их производстве и приемке; организации входного контроля качества кабельных изделий на объектах строительства; испытанию КЛ при вводе в эксплуатацию; проведению эксплуатации и технического обслуживания КЛ (с учетом диагностики и испытаний).

### Требования к КСПЭ одножильного исполнения

КСПЭ преимущественно одножильного исполнения активно внедряются в Республике Беларусь и постепенно вытесняют кабели с бумажно-масляной пропитанной изоляцией (для кабелей среднего напряжения) и маслонаполненные кабели с бумажной изоляцией (для кабелей высокого напряжения). В связи с этим во введении к ТКП 611 приведены основные преимущества КСПЭ одножильного исполнения. К ним относятся:

- высокая надежность в эксплуатации (низкая удельная повреждаемость);
- гибкость и влагуостойчивость изоляции из сшитого полиэтилена;
- высокая электрическая прочность и низкие диэлектрические потери;
- возможность прокладки на трассах с неограниченной разностью уровней;
- стойкость оболочки и изоляции к агрессивным грунтам и блуждающим токам;
- высокая механическая прочность на разрыв и сжатие;
- высокая пропускная способность;
- возможность прокладки на сложных трассах;
- упрощение прокладки и монтажа за счет увеличения строительной длины (меньшее количество соединительных муфт);
- простота, технологичность и экологическая безопасность соединительных и концевых муфт;
- возможность прокладки КЛ при более низких температурах без предварительного подогрева;
- экологическая безопасность КСПЭ (отсутствие масла, битума, свинца).

Новым ТКП определены правила выбора одножильных КСПЭ, даны рекомендации по определению оптимального значения сечения экрана в зависимости от номинального сечения ТПЖ. В ТКП 611 в качестве типовых кабельных изделий приняты КСПЭ белорусского производителя (ПО «Энергокомплект»).

Технические характеристики КСПЭ других производителей не должны уступать характеристикам, приведенным в техническом кодексе.

Выбор конструкции КСПЭ, соответствующей режимам сети, должен производиться на этапе проектирования с применением международных стандартов. Согласно этим стандартам техническим кодексом принято разделение электрической системы напряжением 6–35 кВ на три категории: А, В и С – в зависимости от допустимой длительности существования режима однофазного замыкания на землю. В ТКП 611 даны рекомендации по выбору номинального напряжения одножильных КСПЭ для применения в сетях категорий А, В и С.

### Классификация и технико-эксплуатационные характеристики

Кроме одножильных КСПЭ ТКП 611 устанавливает нормы для применения на объектах электросетевого строительства КСПЭ среднего напряжения в трехфазном исполнении и самонесущих кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СК).

В соответствии с международными стандартами кабельные линии классифицируются по напряжению. Если в ПУЭ 6-го издания такой градации не было, то ТКП 611 с учетом международных подходов различает КСПЭ среднего (6–35 кВ) и высокого (110 кВ) класса напряжения, а также устанавливает требования для КЛ каждого из классов.

Следует отметить, что практически вся кабельная продукция с изоляцией из сшитого полиэтилена среднего напряжения производится с учетом требований [1], на основании которого приняты классификация и условные обозначения, а КСПЭ высокого напряжения – в соответствии с действующими ТУ, разработанными ВНИИКП (г. Москва) и белорусскими изготовителями кабельной продукции.

В разделе «Основные технико-эксплуатационные характеристики» приводятся:

- электротехнические характеристики КСПЭ (значение тангенса угла диэлектрических потерь, уровень частичных разрядов);
- значения допустимых токов в ТПЖ и в экране (длительно допустимые токи, токи термической и электродинамической стойкости, допустимые перегрузки);

– условия эксплуатации КСПЭ (предельные значения температуры окружающей среды, длительно допустимая температура нагрева ТПЖ, допустимая температура ТПЖ в режиме перегрузки, предельно допустимая температура нагрева медного экрана КСПЭ при КЗ, продолжительность работы КСПЭ в режиме перегрузки, срок службы, гарантийный срок эксплуатации).

При выборе сечения ТПЖ и экранов КСПЭ следует обратить внимание не только на конструктивные особенности сооружаемой линии, но и на температурный режим работы изоляции, требования к которому являются ключевыми при расчете сечения ТПЖ и экрана. Например, в техническом кодексе указано, что длительно допустимая температура нагрева жил КСПЭ при эксплуатации не должна превышать 90 °С. Данное условие является определяющим при расчете значений допустимых токов в ТПЖ. Таким образом, расчет допустимого тока в жиле по своей сути является расчетом теплового режима работы изоляции кабеля. Однако в целях упрощения применяется методика расчета допустимых токов с помощью поправочных коэффициентов.

### Заземление

Одним из наиболее важных и трудных этапов в проектировании КЛ с одножильными КСПЭ является выбор решения по их заземлению, в том числе определение способа заземления экранов и защиты от перенапряжения. Особое внимание при проектировании объектов кабельных сетей следует обратить на следующие требования ТКП 611 к заземляющим устройствам КЛ:

- а) напряжение промышленной частоты на экране КСПЭ относительно земли при нормальном режиме работы не должно превышать 100 В, при КЗ в сети – 5 кВ;
- б) напряжение на разомкнутом конце экрана относительно земли не должно превышать 25 В.

Известно, что для обеспечения структуры (равномерности) электрического поля, воздействующего на изоляцию одножильных КСПЭ, необходимо заземлять их металлические экраны. Техническим кодексом подробно рассмотрены (в том числе со схемными решениями) следующие способы заземления экранов одножильных КСПЭ:

#### основные:

- одностороннее заземление экрана;

- двустороннее заземление экрана;
- заземление с транспозицией экранов;

*модификации:*

- секционирование экранов;
- заземления экранов с двумя и более полными циклами транспозиции;
- секционирование экрана со «встречным расположением секций»;
- заземление экранов с неполным циклом транспозиции.

Соединение экранов фаз КСПЭ с контуром заземления (напрямую или с транспозицией) выполняют, как правило, через концевые и транспозитные коробки (КК и КТ), в которых при необходимости устанавливаются ограничители перенапряжения нелинейные (ОПН). КК и КТ, как правило, размещают в специальных колодцах, защищенных от проникновения посторонних лиц.

В ТКП 611 даны рекомендуемые области применения КСПЭ с учетом их конструкции (марки кабеля). Для КЛ, прокладываемых по трассам, проходящим в различных грунтах и условиях окружающей среды, выбор конструкции и сечения КСПЭ следует производить по участку с наиболее тяжелыми условиями. При значительной длине отдельных участков КЛ с различными условиями прокладки для каждого из них рекомендуется выбирать соответствующую конструкцию и сечение КСПЭ.

**Требования к сооружению КЛ**

В техническом кодексе подробно рассмотрены требования, касающиеся непосредственно сооружения КЛ.

При проектировании объектов кабельных сетей трассу КЛ следует выбирать такой, чтобы при прокладке КСПЭ не были превышены допустимое усилие тяжения и радиальное давление (на изгибах трассы). При этом следует учитывать способ прокладки и строительные длины кабелей. Таким образом, в новом ТКП приводится методика расчета механических усилий при прокладке КСПЭ с указанием минимально допустимых радиусов изгиба кабелей при прокладке одножильных (однофазных) и трехжильных (трехфазных) КСПЭ, а также самонесущего кабеля. Документом также определены требования к монтажу соединительных муфт и креплению КСПЭ.

Важным этапом проектирования КЛ с применением КСПЭ является выбор способа прокладки. Согласно ТКП 611 кабельные линии могут быть проложены

одним из следующих способов:

- в земле с применением одной из технологий бестраншейной прокладки: горизонтального направленного бурения (ГНБ), управляемого прокола или продавливания;
- в земле (траншее);
- в кабельных сооружениях, в том числе наземных, подземных проходных, подземных непроходных;
- в зданиях энергетических объектов и производственных помещениях;
- по опорам ВЛ с применением СК.

При бестраншейной прокладке КСПЭ преимущественным (основным) методом выполнения закрытых подземных переходов (ЗПП) является ГНБ. Широкое применение этого метода обусловлено отсутствием у КСПЭ (в отличие от кабелей с бумажно-масляной изоляцией и маслонаполненных) ограничений на перепад высот по трассе КЛ. Это позволяет не только поднимать КСПЭ на большую высоту над землей (опоры ВЛ), но и опускать их на большую глубину под землю (метод ГНБ). Метод ГНБ эффективно применяется для прокладки ЗПП при строительстве КЛ в условиях плотной городской застройки и наличия всевозможных преград (препятствий). Техническим кодексом рассмотрены требования по выполнению ЗПП через автомобильные и железные дороги (в документе даны соответствующие поясняющие рисунки).

Важным моментом при сооружении КЛ методом ГНБ является правильный выбор типа и конструкции труб, соответствующих условиям прокладки КСПЭ. В качестве основного типа исполнения труб технический кодекс определяет термостабильные полиэтиленовые (ПЭ) трубы низкого давления по [2]. Кроме того, при технико-экономическом обосновании допускается использование труб других типов исполнения, среди которых хотелось бы отметить многослойные термостойкие ПЭ-трубы типа «Протекторфлекс».

Прокладка КЛ непосредственно в земле (траншее) должна выполняться на глубине не менее 0,7 м для КСПЭ среднего напряжения до 20 кВ, не менее 1,0 м – для КСПЭ среднего напряжения 35 кВ и 1,5 м – для КСПЭ высокого напряжения 110 кВ.

Одножильные КСПЭ могут располагаться в траншее «треугольником», вплотную и в плоскости, с расстоянием между кабелями, как правило, равным диаметру проектируемого ка-

беля. Кабели, кроме расположенных треугольником, следует прокладывать так, чтобы вокруг них не было замкнутых металлических контуров из магнитных сплавов. Для защиты кабелей от механических повреждений применяются кирпич, железобетонные плиты или лента защитно-сигнальная.

ТКП 611 подробно рассматривает (с указанием минимально допустимых расстояний) вопросы пересечения и сближения (в том числе при параллельном следовании) КСПЭ с фундаментами зданий и сооружений, подземными инженерными сетями и различного рода препятствиями.

Для защиты прокладываемых в траншее КСПЭ при пересечениях и сближениях с различного рода препятствиями, а также с целью уменьшения допустимых расстояний (в стесненных условиях) должны использоваться полимерные, асбоцементные, керамические трубы или трубы из иного изоляционного немагнитного материала. Согласно СТБ ГОСТ Р 50838 в траншее рекомендовано применение термостабильных полиэтиленовых труб белорусского производства.

В техническом кодексе приведены требования к прокладке КЛ с КСПЭ в кабельных сооружениях (блоках, каналах, туннелях, галереях, эстакадах, камерах и т.д.), производственных помещениях и конструкциях, по специальным сооружениям (мостам, причалам, пирсам), а также к подводной прокладке.

Кабельные блоки (КБ), как правило, применяют в кабельных сетях до 10 кВ для прокладки КСПЭ напряжением 6–10 кВ в потоке других кабелей напряжением до 10 кВ (силовых, контрольных, управления, связи и т.д.) в условиях большой стесненности. В ТКП приведены минимально допустимые сближения и пересечения КБ с подземными коммуникациями и препятствиями. В качестве каналов КБ, как правило, применяют полиэтиленовые трубы диаметром 125, 140, 160 мм. В зависимости от механической нагрузки на блок определяют параметры ПЭ-трубы (размеры, SDR трубы и ее материал – ПЭ 100 или ПЭ 80).

Следует отметить, что при проектировании КЛ в кабельных сооружениях (этажах, туннелях, галереях, эстакадах, каналах, двойных полах) должны быть учтены введенные техническим кодексом требования к пожарной безопасности (в том числе значение предела

огнестойкости перегородок, перекрытий, несущих конструкций из железобетона и т.д.).

Отдельный раздел нового технического кодекса посвящен кабельной арматуре. На КЛ с КСПЭ применяют, как правило, кабельную арматуру (в том числе концевые и соединительные муфты), выполненную на основе термоусаживаемых полимерных материалов по технологии поперечно сшитых полимеров. В то же время, главным образом в пожароопасных местах строительства КЛ, допускается монтаж муфт с использованием технологии холодной усадки (усаживаемый материал – этиленпропиленовая резина или силикон).

При разработке проектов КЛ следует предусматривать применение кабельной арматуры, прошедшей оценку соответствия техническим требованиям. Конструкцию и тип кабельных муфт необходимо выбирать в зависимости от параметров КСПЭ (конструкция кабеля, номинальное напряжение, количество и сечение жил и т.д.), способа заземления экранов, климатического и механического воздействия, условий безопасности и способа прокладки.

На стадии проектирования КЛ высокого напряжения должны быть рассмотрены вопросы допустимости воздействующих напряжений и влияние магнитных полей на человека. В разделе «Электромагнитная совместимость» приводятся допустимое время пребывания рабочего персонала в зоне воздействия электромагнитного поля КЛ высокого напряжения и допустимая интенсивность магнитного поля частотой 50 Гц при воздействии на население.

### Требования к качеству прокладки КСПЭ

Значительное место в ТКП 611 отведено требованиям к качеству выполнения полного комплекса работ по прокладке КСПЭ, в том числе при проектировании, производстве кабельных изделий на современном оборудовании, строительстве КЛ (с прокладкой КСПЭ и монтажом оборудования и арматуры), эксплуатации, техническом обслуживании, ремонтах, диагностике и т.д.

Очевидно, что преимущества одножильных КСПЭ, указанные выше, могут быть реализованы только при условии выполнения всех предусмотренных новым ТКП требований к качеству строительства КЛ. Что касается качества самих кабельных изделий и работ, про-

водимых на КЛ, то новый ТКП содержит:

- требования к применяемым материалам, конструкции и техническим характеристикам КСПЭ;
- рекомендации по контролю качества КСПЭ в процессе производства (дан рекомендуемый состав приемосдаточных, периодических и типовых испытаний);
- требования к проведению входного контроля;
- нормы по организации строительно-монтажных работ на КЛ (приведен перечень оборудования, приспособлений, инструментов и материалов, необходимых для прокладки КСПЭ одной строительной длины);
- требования к изготовлению и монтажу кабельной арматуры;
- рекомендации по проведению испытаний КЛ (в том числе при вводе в эксплуатацию);
- требования к эксплуатации и техническому обслуживанию КЛ (включая надзор за состоянием кабельных трасс, сооружений и КЛ, диагностику их технического состояния, определение мест повреждений КЛ, ремонт и техническое обслуживание КЛ);
- рекомендации по применению КСПЭ с учетом типа исполнения и класса пожарной опасности.

Следует отметить, что проведение испытаний одножильных КСПЭ имеет ряд отличительных особенностей, среди которых можно выделить практический запрет на испытание изоляции кабелей повышенным постоянным напряжением. Таким образом, ТКП 611 предусматривает следующие способы испытаний КСПЭ среднего напряжения:

- переменным напряжением  $2U_0$  номинальной частотой 50 Гц в течение 60 мин;
- переменным напряжением  $U_0$  номинальной частотой 50 Гц в течение 24 ч;
- переменным напряжением  $3U_0$  номинальной частотой 0,1 Гц в течение 60 мин.

КСПЭ высокого напряжения испытывают либо переменным синусоидальным напряжением  $2U_0$  (между ТПЖ и заземленным экраном), либо номинальным рабочим напряжением линии в течение 24 ч без нагрузок.

В настоящее время наиболее эффективным способом диагностики технического состояния КСПЭ и кабельной арматуры является метод неразрушающего контроля, по результатам которого принимается решение о продолжении эксплуатации КЛ, проведении ремонта

или замены кабеля.

Внедрение метода неразрушающего контроля силовых КЛ с использованием современного оборудования способствует повышению надежности электроснабжения потребителей главным образом за счет выявления и устранения дефектов в КСПЭ и арматуре на ранней стадии их развития.

Требования ТКП 611 предусматривают диагностику технического состояния КЛ, которая включает:

- измерение сопротивления изоляции КСПЭ;
- измерение уровня частичных разрядов с локализацией места их возникновения;
- диэлектрическую диагностику, а именно определение тангенса угла диэлектрических потерь и/или измерение тока утечки (релаксации);
- импульсную рефлектометрию;
- тепловизионный контроль контактных соединений.

### Заключение

Разработанный ТКП 611-2017 (33240) «Силовые кабельные линии напряжением 6–110 кВ. Нормы проектирования по прокладке кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена пероксидной сшивки» является новым техническим нормативным правовым актом Республики Беларусь, регламентирующим вопросы проектирования и строительства современных кабельных линий. Технический кодекс рекомендуется для применения проектными, строительно-монтажными и эксплуатационными организациями Республики Беларусь. Выполнение требований нового документа поможет избежать ошибок при проектировании и строительстве энергетических объектов с применением силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и будет способствовать повышению надежности кабельных сетей напряжением 6–110 кВ.

#### Список литературы

1. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно. Общие технические условия: ГОСТ Р 55025-2012. – Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 486.
2. Трубы из полиэтилена для газопровода. Технические условия: ГОСТ Р 50838-2009. – Утвержден и введен в действие Приказом Ростехрегулирования от 15.12.2009 № 1016-ст.