

Особенности применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена

В настоящее время в России накоплен значительный опыт эксплуатации кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена, и теперь есть возможность обсудить их преимущества и недостатки, а также выполнить сравнение с кабелями, где в качестве изоляции используется бумага, пропитанная маслом. В России много специалистов-кабельщиков высокого уровня, и у каждого из них сложилось своё мнение о полиэтиленовой изоляции. Надеюсь, что изложенные здесь соображения станут поводом для начала открытой дискуссии на страницах журнала «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение» о том, всё ли верно мы делаем в наших кабельных сетях.

Михаил ДМИТРИЕВ,
доцент Санкт-Петербургского политехнического университета, к.т.н.

ВВЕДЕНИЕ

Сравнивая кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) с кабелями, где использована бумажно-масляная изоляция (БМИ), как правило, называют несколько следующих преимуществ СПЭ:

- больше допустимая температура в нормальном режиме работы и при коротких замыканиях (больше длительно допустимый ток и термическая стойкость);
- отсутствие ограничения на перепад высот по трассе кабельной линии;
- простота монтажа (особенно однофазных кабелей) и эксплуатации;
- меньше диэлектрическая проницаемость изоляции (ниже ток «холостого хода»);
- меньше тангенс угла диэлектрических потерь (ниже потери в изоляции);
- экологическая безопасность из-за отсутствия масла.

Разумеется, у СПЭ есть и недостатки, но о них всегда говорили не так охотно и уж точно не так громко, как о преимуществах. Вполне возможно, что Россия воспринималась для производителей и поставщиков таких кабелей как очень привлекательный рынок сбыта, и поэтому заинтересованные лица поддерживали

положительный образ кабелей с изоляцией из СПЭ. Наверное, это было на руку и некоторым сетевикам, которые рапортовали об успешном внедрении «инноваций».

Разобраться со сшитым полиэтиленом и, если потребуется, скорректировать техническую политику целесообразно именно сейчас, поскольку сетевые компании вплотную занялись оптимизацией своих расходов на строительство и эксплуатацию кабельных сетей.

Если раньше приходилось принимать на веру каталоги и презентации заводов, которые свидетельствовали исключительно о замечательных свойствах силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, то теперь самое время подумать над тем, а так ли хороши эти кабели и какова область их рационального применения?

Нередко в обоснование замечательных свойств полиэтиленовой изоляции ссылались на положительный мировой опыт (забывая сказать, что ряд стран были и остаются убеждёнными сторонниками БМИ). Однако теперь об изоляции из СПЭ можно судить на основе отечественного опыта производства, проектирования, монтажа и эксплуатации таких кабелей, который показал:

- в России нет производства полиэтиленовой изоляции, и поэтому 100% сырья для кабелей и муфт привозится из-за границы;
- в России более десятка заводов, закупив импортные технологические линии, могут делать «СПЭ-кабели» 6—35 кВ, лишь несколько могут делать «СПЭ-кабели» 110 кВ и выше, но вот производство «СПЭ-муфт» явно отстаёт, и до недавнего времени муфты классов 110 кВ и выше в нашей стране вообще не выпускались;
- кабели с изоляцией из СПЭ оказались совсем не дешёвыми, и их стоимость в ряде случаев в полтора—два раза превосходит кабели с БМИ;
- повреждаемость кабелей 6—500 кВ с изоляцией из СПЭ вопреки всем ожиданиям оказалась не ниже, а порой даже выше, чем у кабелей с БМИ.

Неблагоприятным обстоятельством, сопровождающим в России применение кабелей с полиэтиленовой изоляцией, стало также то, что долгие годы нормативная база здесь явно отставала от интенсивного строительства, и многие кабельные линии создавались «вслепую». Разумеется, в таких условиях не удавалось обойтись без дорогостоящих ошибок, ведь стоимость кабельной линии достигает десятков миллионов рублей за каждый километр. Например, известны случаи повреждения линии сразу на значительном протяжении трассы по следующим причинам:

- неверный выбор сечения жилы и/или экрана;
- неверный выбор схемы заземления экранов в части учёта наведённых токов и вызванных ими потерь мощности;
- ошибочные испытания полиэтиленовой изоляции повышенным постоянным напряжением по нормам, справедливым для кабелей с БМИ.

Ещё одним важнейшим моментом, который наконец начали обсуждать, стал способ заземления нейтрали в сетях среднего напряжения 6—35 кВ. Оказалось, что кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (особенно однофазной конструкции) не вполне подходят для отечественных сетей 6—35 кВ, работающих с изолированной (компенсированной) нейтралью. Положительный же зарубежный опыт по кабелям с СПЭ-изоляцией, который всегда ставили в пример отечественным энергетикам, на самом деле относится к сетям, в которых замыкание на землю быстро и селективно отключается защитами, т.е. относится к сетям:

- высокого и сверхвысокого напряжения с глухо заземлённой нейтралью;
- среднего напряжения с резистивно заземлённой нейтралью.

Рассмотрим перечисленные вопросы подробнее.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАБЕЛЕЙ

К сожалению, массовое применение в нашей стране кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена пришлось на годы, когда, во-первых, упала квалификация проектных центров, а во-вторых, не было достаточной нормативной базы.

Ослабление в 90-е годы проектной школы и отсутствие норм, где было бы чётко написано, как надо

поступать с полиэтиленом, ожидаемо привели к появлению ряда неудачных проектов, которые, разумеется, заставили сомневаться в плюсах кабелей с СПЭ-изоляцией. Но здесь приходится научиться разделять проблемы на те, что связаны с самими кабелями, и на те, которые вызваны ошибками проектов.

Рассуждая сейчас о преимуществах и недостатках СПЭ-изоляции в сравнении с БМИ, конечно, надо понимать, что многие из тех ошибок теперь уже вряд ли возможны. Поэтому в части проектирования, пожалуй, в настоящее время кабели с СПЭ-изоляцией и БМИ находятся в равных условиях.

Сказанное вовсе не означает, что все необходимые документы разработаны и у проектировщиков больше не возникает проблем.

ПРОИЗВОДСТВО КАБЕЛЯ

В России нет ни одного производителя полиэтилена высокого качества в такой мере, в которой это нужно при изготовлении силовых кабелей. Поэтому все без исключения кабельные заводы импортируют сырьё, закупая его всего у двух фирм — Borealis (Европа) и DOW (Америка). Причём на долю первой приходится 75% поставок. Таким образом, если полностью отказаться от бумажной изоляции, то Россия попадет в колоссальную зависимость от западных производителей, санкций, условий поставок.

Даже несколько лет назад, когда курсы валют способствовали безболезненным закупкам сырья за границей, кабель 10 кВ с СПЭ-изоляцией, например, стоил раза в полтора дороже, чем кабель АСБ с изоляцией из бумаги, пропитанной маслом. Теперь же, в 2015 г., с учётом удорожания сырья иностранного производства разница в стоимости увеличилась.

Ещё одним важным моментом, который влияет на стоимость кабеля, является цена меди. Оказалось, что, хотя в России и есть собственное производство меди, покупать медь для жил и экранов кабельные заводы вынуждены на лондонской бирже, что автоматически привязывает стоимость меди к курсам мировых валют. Такая специфика приводит к тому, что даже стоимость обычного кабеля с бумажно-пропитанной изоляцией и медной жилой, все компоненты для которого являются отечественными, определяется курсами доллара и евро.

Происхождение полиэтилена и высокая цена кабеля с такой изоляцией сами по себе должны заставить задуматься над тем, так ли нужно нашей стране массовое использование полиэтилена. Рациональным представляется определить круг задач, при решении которых полиэтилен действительно не имеет равных, а в остальных случаях пусть применяются недорогие кабели с бумажно-пропитанной изоляцией.

Высокая цена на кабели с СПЭ-изоляцией автоматически регулирует область применения СПЭ в отечественной электроэнергетике, но было бы здорово, чтобы наши сети строили не экономисты, а технические специалисты. Поэтому в любом случае будет полезным наконец сформулировать техническую политику крупных электросетевых компаний в части кабелей, в которой было бы чётко прописа-

но, когда и зачем надо применять СПЭ, а когда и зачем — БМИ.

Скорее всего, при строительстве кабельных линий классов 110—500 кВ доля полиэтиленовой изоляции в обозримом будущем будет очень высока, но вот в сетях 6—35 кВ, особенно если там изолированная (компенсированная) нейтраль, кабели с бумажно-масляной изоляцией вполне могут занять (и занимают) весомую нишу.

КАБЕЛЬНЫЕ МУФТЫ

Конкуренция на рынке силовых кабелей с изоляцией из СПЭ в России очень жёсткая. Многие отечественные и зарубежные заводы готовы поставлять силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на разные классы напряжения, в однофазном и трёхфазном исполнении. Если говорить о конкуренции на рынке муфт, то здесь производителей заметно меньше, особенно отечественных, и это не случайно. Дело в том, что муфта — это ответственный элемент кабельной линии, и изготовить её сложнее, чем кабель.

Если сравнивать монтаж муфты для кабеля с бумажно-масляной изоляцией и муфты для кабеля с полиэтиленовой изоляцией, то монтаж последней проще. Как тогда объяснить большое число повреждений муфт на линиях с СПЭ-изоляцией — не вполне понятно. Монтажные организации во всём винят производителей муфт, а производители, напротив, усматривают некачественный монтаж.

Разобраться в этом вопросе надо обязательно, поскольку повреждение муфты (см. рис.) означает короткое замыкание на линии, и каждый раз на большом протяжении своей трассы кабель испытывает и термическое, и динамическое воздействие токов короткого замыкания, которое не идёт ему на пользу.

Без осознания причин высокой аварийной статистики по муфтам невозможно быть до конца объективным в вопросах оценок преимуществ/недостат-

Рис. Кабель 10 кВ после удаления с него частей повреждённой муфты



ков кабелей с СПЭ-изоляцией, а также их сравнения с кабелями с БМИ.

ИСПЫТАНИЯ И ПОИСК ПОВРЕЖДЕНИЙ

Появление в сетях изоляции из сшитого полиэтилена потребовало пересмотра подходов к испытаниям и поиску повреждений кабелей. Парк приборов и установок, которыми пользовались для обслуживания кабелей с БМИ, оказался непригоден для СПЭ-изоляции, которая не терпит испытаний высоким постоянным напряжением, не терпит поиска повреждений изоляции традиционным методом прожига. Также определённые особенности в обслуживании кабелей с полиэтиленом внесло и наличие у них медных проводящих экранов, чего не было у кабелей с БМИ.

После того как неверные испытания и поиск повреждений привели к потере нескольких кабельных линий, в этом вопросе удалось навести порядок, и теперь для обслуживания кабельных линий с СПЭ-изоляцией пользуются соответствующими специальными установками отечественного или зарубежного производства.

Так, по всей стране испытания СПЭ-изоляции теперь проводят напряжением сверхнизкой частоты 0,1 Гц (СНЧ). Кроме того, значительное развитие получили методы поиска повреждений, не опасные для полиэтилена.

Разобравшись с методами испытаний, специалисты задались вопросом, а надо ли вообще испытывать кабели с СПЭ-изоляцией так же часто, как это делалось для БМИ? Дело в том, что любое испытание повышенным напряжением оставляет в изоляции дефекты, и если изоляция твёрдая (СПЭ), то такие дефекты не способны к самозалечиванию и с годами будут только прогрессировать. Поэтому в России стало развиваться перспективное направление щадящей диагностики кабельных линий методом частичных разрядов. Таким образом, применительно к СПЭ наметилась тенденция замены испытаний повышенным напряжением на диагностику кабеля под рабочим напряжением без его отключения от сети. Но и такая безопасная для кабеля процедура всё равно имеет смысл лишь первые годы после начала работы.

Итак, если сравнивать кабели с СПЭ-изоляцией и БМИ, то их эксплуатация должна быть построена по-разному. Нельзя заменить БМИ на современный кабель с полиэтиленовой изоляцией, но сохранить при этом методы обслуживания сетей, предполагающие многократные проверки изоляции, ведь важное преимущество полиэтилена заключается как раз в том, что к нему не надо подходить.

Идеология применения СПЭ должна быть следующей: кабель с изоляцией из СПЭ не требует обслуживания. Исключение составляют первые 2—3 года его работы, когда имеет смысл проводить диагностику главной изоляции методом частичных разрядов, а также испытания оболочки на целостность напряжением 10 кВ.

Такая политика по отношению к полиэтилену действительно оправдана, и это подтверждается

зарубежными сетевыми компаниями. Именно большая экономия на эксплуатационных издержках даёт основание тратить деньги на покупку кабелей с полиэтиленовой изоляцией, хотя они дороже кабелей с БМИ.

А как в России? Мало того что мы покупаем и прокладываем дорогостоящий кабель с СПЭ-изоляцией, так мы ещё и начинаем организовывать его эксплуатацию, обеспечивая себя и подрядные фирмы работой на долгие годы вперёд:

- регулярно испытывается изоляция и оболочка кабеля, для чего линия выводится из работы, готовится схема, осуществляется демонтаж транспозиции экранов;
- муфты обвешиваются дорогими датчиками контроля частичных разрядов;
- сама кабельная линия оснащается системой непрерывного контроля температуры (цена такой установки огромна, составляет проценты от стоимости кабеля, а эффективность сомнительна, поскольку большинство кабельных линий нашей страны загружены едва ли на 0,3—0,5 своего номинала).

Считаю, что действительно привлекательными кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена станут только тогда, когда их применение будет связано с

желанием упростить и удешевить эксплуатацию, а не с желанием заработать на ней.

СПОСОБ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ И ИЗОЛЯЦИЯ КАБЕЛЯ

Кабели с СПЭ-изоляцией предназначены прежде всего для эксплуатации в сетях с заземлённой нейтралью (глухо, эффективно, резистивно). В сетях же с изолированной (компенсированной) нейтралью их применение вызывает трудности.

Во-первых, изоляция любого оборудования такой сети должна рассчитываться на длительное воздействие не фазного напряжения, а линейного. Для кабелей с СПЭ-изоляцией, учитывая высокую стоимость полиэтилена, такое удорожание заметно.

Во-вторых, изоляция должна быть стойка к дуговым перенапряжениям (из-за неустойчивого горения заземляющей дуги в месте повреждения) и коммутационным перенапряжениям (из-за необходимости поиска места повреждения изоляции сети путём поочерёдного отключения фидеров). Вместе с тем у сшитого полиэтилена, не способного, в отличие от бумаги, к самозалечиванию, здесь недостаточно уверенные позиции, и любые дефекты СПЭ-изоляции будут прогрессировать при воздействии

КОММЕНТАРИЙ



Владимир Софин, директор Департамента технологического развития и инноваций ОАО «Россети»

В настоящее время Технической политикой ОАО «Россети» определено преимущественное применение кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Так, для объектов 35 кВ и выше при реализации программ нового строительства и

комплексной реконструкции применяется кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена категории пожарной безопасности «нг» — не распространяющие горение (в зависимости от условий прокладки). Это обеспечивает повышение надёжности электросетевых объектов магистральных и распределительных сетей. В развитие данного принципа в 2014 году силами Департамента управления производственными активами совместно с МЧС России был подготовлен стандарт организации СТО 34.01-27.3-002-2014 «Проектирование противопожарной защиты объектов электросетевого комплекса ОАО «Россети», где введено ограничение на применение кабелей с бумажной пропитанной изоляцией на ПС 35 кВ и выше (раздел 5).

К недостаткам кабелей с бумажной пропитанной изоляцией также относятся относительная большая гигроскопичность (для защиты от увлажнения кабе-

ли заключаются в свинцовую или алюминиевую оболочку: в первом случае существенно затрудняется монтаж кабеля на подстанциях; во втором — ограничение по применению в условиях агрессивных сред), ограничение по нижнему значению температуры монтажа кабеля (не ниже нуля).

К недостаткам кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в первую очередь можно отнести невозможность восстановления изоляции, повышенные требования к квалификации бригад, проводящих монтаж кабельных систем (кабеля, соединительных и концевых муфт).

В части вопроса импортозамещения: да, в настоящее время отечественными заводами выпускается кабельная бумага (изоляционная и электропроводящая) для кабелей средних классов напряжения. При этом сегодня отечественные кабельные заводы начали применять электропроводящую композицию производства компании «Лидер Компаунд» (г. Саранск) для кабелей до 35 кВ включительно, ведутся работы по разработке изоляционного компаунда.

Таким образом, применение кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена 6—500 кВ является обоснованным с точки зрения высоких эксплуатационных характеристик и меньшей пожарной опасности (поскольку применяются кабели, не распространяющие горение), обеспечивающих высокий уровень надёжности для потребителей ОАО «Россети».

перенапряжений и рано или поздно могут дать повреждение изоляции.

Переход в сети среднего напряжения от изолированной (компенсированной) нейтрали к резистивно заземлённой позволил бы селективно отключать замыкания на землю, что минимизировало бы длительность воздействия на СПЭ-изоляцию кабелей линейного напряжения сети и перенапряжений, позволило бы иметь менее дорогие и более надёжные, долговечные кабели.

СПОСОБ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ И ОДНОФАЗНЫЕ КАБЕЛИ

Кабели с полиэтиленовой изоляцией выпускаются как в трёхфазном, так и в однофазном исполнении, но в последнем — гораздо чаще. Так, 100% кабелей для сетей 110—500 кВ делаются однофазными, а в сетях 6—35 кВ доля однофазных может достигать 50%. Однофазные кабели проще и надёжнее трёхфазных, но имеют одну особенность — медные хорошо проводящие экраны, в которых наводятся токи 50 Гц и возникают вызванные токами потери активной мощности. Минимальными токи и потери были бы лишь в случае, когда у кабелей было бы маленькое сечение экрана (именно маленькое, а не большое, здесь нет ошибки). Однако, к сожалению, в сетях применяются кабели с большим сечением экрана, что вызвано необходимостью обеспечения термической стойкости экранов к токам короткого замыкания.

В сетях 110—500 кВ с заземлённой нейтралью (кабелей 750 кВ в России нет) сечение экрана выбирается по стойкости к току однофазного короткого замыкания с учётом времени его отключения. В результате сечение экрана порой достигает 240 мм², и возникают проблемы с токами и потерями в экранах

в нормальном режиме работы, где, напротив, было бы хорошо малое сечение экрана до 35—50 мм².

В сетях 6—35 кВ с изолированной (компенсированной) нейтралью токи однофазного замыкания на землю малы и составляют единицы или десятки Ампер. Значит, казалось бы, в таких сетях достаточно применять однофазные кабели с небольшими сечениями экранов и, как следствие, не иметь проблем с токами и потерями в экранах в нормальном режиме работы. К сожалению, это не получается.

При возникновении однофазного повреждения изоляции в силу небольших токов замыкания на землю его сложно обнаружить. Длительное же существование замыкания приводит к тому, что под действием линейного напряжения сети, а также дуговых и коммутационных перенапряжений где-то в другом месте сети на неповреждённой фазе возникает второе замыкание на землю, и тогда сеть получает двойное короткое замыкание. Именно на токи двойного короткого замыкания приходится выбирать сечение экранов однофазных кабелей с СПЭ-изоляцией, а эти токи достигают 0,87 от тока трёхфазного короткого замыкания. Экраны получаются большого сечения, а кабели — дороже. Кроме того, большое сечение экрана при его двустороннем заземлении приводит к появлению в экранах наведённых токов 50 Гц и вызванных ими паразитных потерь активной мощности в экранах, годовая стоимость которых достигает 50—100 тыс. рублей с каждого километра линии.

Итак, в сетях 110—500 кВ сечение экранов однофазных кабелей выбирают на ток однофазного короткого замыкания, а в сети 6—35 кВ с изолированной нейтралью — на ток двойного короткого замыкания (почти ток трёхфазного). В обоих случаях сечение экрана получается повышенное, и, следова-

КОММЕНТАРИЙ



Виктория Востросаблина, заместитель главного инженера по эксплуатации Московских кабельных сетей (МКС) — филиала ОАО «МОЭСК»

Кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена или традиционный кабель с бумажно-масляной изоляцией? Мы так вопрос не ставим. Сегодня в сетях, эксплуатируемых МКС — филиалом ОАО «МОЭСК», кабель с бумажно-масляной изоляцией используется только при ремонтах кабельных линий с бумажно-масляной изоляцией напряжением 6—10 кВ.

При прокладке новых кабельных линий, реконструкции кабельных линий с бумажно-масляной изоляцией и замене больших участков используется кабель с изоляцией из СПЭ. Его применение

обусловлено преимуществами по сравнению с традиционным кабелем марок АСБ, АСБг. Кабель с изоляцией из СПЭ, применяемый в сетях МКС, производится на заводах России и Белоруссии. География заводов-поставщиков достаточно широка: от Кавказа на юге до Северного Урала, от Байкала на востоке до Белоруссии на западе. Основная часть заводов расположена в центральной полосе России.

В настоящее время в МКС — филиале ОАО «МОЭСК» — проводится работа по внедрению в опытную эксплуатацию «универсального» кабеля с изоляцией из СПЭ. Характеристики кабеля позволяют прокладывать его и в траншеях с агрессивными грунтами, и в кабельных коллекторах без применения дополнительного огнезащитного кабельного покрытия.

тельно, такие кабели имеют в нормальном режиме работы сети проблемы с токами и потерями мощности в экранах. Для борьбы с потерями приходится внедрять такие мероприятия, как одностороннее заземление экранов или транспозиция экранов, которые требуют внимательного выбора и бережной эксплуатации. Иными словами, вначале надо переплатить за кабель, купив его с большим сечением экрана, а затем ещё иметь проблемы с потерями, на борьбу с которыми опять-таки надо тратить средства.

В сетях 110—500 кВ затраты на внедрение и обслуживание мероприятий по борьбе с токами в экранах ничтожны в сравнении со стоимостью кабельной линии, а вот в сетях 6—35 кВ, особенно учитывая огромное число таких кабелей, массовое внедрение мероприятий по борьбе с токами в экранах было бы нежелательно (хотя отдельные объекты уже имеются, и их экономическая целесообразность доказана).

Если бы в сетях 6—35 кВ была не изолированная (компенсированная) нейтраль, а резистивно заземлённая (как в тех странах, откуда к нам пришёл полиэтилен), то тогда сечение экрана можно было бы выбирать на токи однофазного повреждения, составляющие не более 500—1000 А, а вовсе не на токи двойного короткого замыкания, приближающиеся по величине к току трёхфазного короткого замыкания в десятки кА. Это позволило бы применять однофазные кабели с малым сечением экрана, а оно в нормальном режиме работы сети не вызывает проблем с потерями в экранах и не требует внедрения неудобных мер борьбы с ними, т.е. экраны кабеля можно просто заземлить по концам, не опасаясь последствий.

К сожалению, массовый переход в отечественных сетях среднего напряжения 6—35 кВ к резистивному заземлению нейтрали пока не предвидится, а значит, в таких сетях надо применять не однофазные кабели, а трёхфазные. Это могут быть кабели с СПЭ-изоляцией или БМИ — любые, но только трёхфазные, а не однофазные.

В пользу трёхфазных кабелей говорит и ещё одна проблема, с которой сейчас столкнулись городские кабельные сети, работающие с изолированной нейтралью. При возникновении замыкания на землю в трёхфазном кабеле в силу компактности конструкции повреждение изоляции быстро переходит на вторую и третью фазу (в том же месте кабеля), и кабель оперативно отключается токовыми защитами. Иначе говоря, в случае трёхфазных кабелей для эксплуатирующей организации сведены к минимуму проблемы поиска замыкания на землю в сети, ведь достаточно немного подождать, и аварийный кабель сам проявит себя. Если же применять однофазные кабели, особенно прокладывая их на расстоянии друг от друга (а не сомкнутым треугольником), то замыкание на землю одной из фаз вряд ли перекинется на другие фазы того же кабеля, и тогда аварийный кабель сам себя уже не проявит, и надо заниматься его поиском. В процессе такого поиска придётся поочередно отключать все кабели сети, снижая надёжность работы, порождая

риск возникновения ещё одного замыкания на землю уже где-то в другом месте сети на изначально неповреждённой фазе.

Высказанные соображения дополняют аргументацию против однофазных кабелей в сетях с изолированной (компенсированной) нейтралью, и склоняют к применению в таких сетях трёхфазных кабелей или же к смене режима нейтрали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Если бы массовое внедрение СПЭ в нашей стране следовало не до, а после выяснения особенностей этого вида изоляции, то кабели с СПЭ-изоляцией и БМИ имели бы чётко и ясно сформулированные области рационального использования и применялись по своему назначению.

Кабели с полиэтиленовой изоляцией действительно имеют ряд преимуществ, таких как возможность работать при повышенных температурах или отсутствие ограничения на перепад высот по трассе кабельной линии, но имеется и ряд весьма неприятных обстоятельств, которые не следует игнорировать, а надо обсудить и при необходимости внести соответствующие корректировки в нормы.

Сравнение полиэтиленовой изоляции с бумажно-масляной — не самый простой вопрос. Однако некоторые выводы можно сделать уже сейчас.

1. Следует постараться объективно разобраться с причинами аварийной статистики по кабельным линиям с изоляцией из сшитого полиэтилена и понять, в чём дело.
2. Следует воспринимать кабель с полиэтиленовой изоляцией как не требующий обслуживания в эксплуатации. В частности, за исключением первых лет работы, надо свести к минимуму испытания таких кабелей. Также не следует поощрять оснащение таких кабельных линий системами непрерывного контроля, поскольку они противоречат самой идеологии применения полиэтиленовой изоляции.
3. В сетях среднего напряжения 6—35 кВ применение однофазных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена рационально лишь в случае резистивного заземления нейтрали, настроенного на быстрое отключение замыкания на землю.
4. В сетях среднего напряжения 6—35 кВ с изолированной (компенсированной) нейтралью надо шире применять трёхфазные кабели (с изоляцией из сшитого полиэтилена или с бумажно-масляной изоляцией), уходя от однофазных.
5. В сетях среднего напряжения 6—35 кВ в ряде случаев кабели с бумажно-масляной изоляцией могли бы конкурировать с полиэтиленом хотя бы в силу невысокой стоимости, стойкости к перенапряжениям. Сетевым компаниям рекомендуется определиться с тем, где лучше прокладывать такие кабели, и обозначить это в технической политике, в том числе учитывая важность снижения импорта сырья.
6. В сетях 110—500 кВ в обозримом будущем альтернативы однофазным кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена не предвидится.