

УДК 621.315

Ю.Ю. ЛЕОНОВА, ассистент, студент гр. ЭАм-211 (КузГТУ)
Научный руководитель В.А. НЕГАДАЕВ, к.т.н., доцент (КузГТУ)
г. Кемерово

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Для передачи и распределения электрической энергии используются силовые кабели. Кабели низкого напряжения (до 35 кВ включительно) применяются для электроснабжения крупных предприятий и городов, кабели высокого напряжения (110-500 кВ) – для электроснабжения больших городов [1]. Надежность и безопасность передачи электроэнергии зависит, в том числе, от материалов изоляции применяемых кабелей.

В России традиционно использовались для напряжения до 35 кВ кабели с бумажно-пропитанной изоляцией (БПИ). Однако, учитывая требования по надежности, электробезопасности, удобству эксплуатации, пожаробезопасности и экологичности, которые в настоящее время предъявляются к кабельной продукции, кабель с БПИ должен быть заменен кабелем с более совершенной изоляцией.

Опыт эксплуатации в развитых странах кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) продемонстрировал преимущества таких кабелей перед кабелями с БПИ [2].

Одним из преимуществ кабелей с СПЭ-изоляцией является простота монтажа (что связано с меньшими размерами, массой кабеля, а также допустимой температурой прокладки), эксплуатации, большой срок службы по сравнению с кабелями с БПИ. Из-за меньшего допустимого радиуса изгиба кабель с изоляцией из СПЭ не имеет ограничений по использованию на трассах с большой разностью уровней. Также важно учесть степень повреждаемости кабелей при прокладке, являющейся одной из частых причин выхода из строя кабельных линий; при прокладке кабеля с изоляцией СПЭ повреждаемость ниже [2].

Кабели с изоляцией из СПЭ обладают большей экологической безопасностью за счет отсутствия свинца, масла. Кроме того, отсутствие масла исключает возможность его вытекания, что может привести к ухудшению диэлектрических характеристик и отказу в работе кабельной линии [2].

При длительной нагрузке допустимая температура для кабелей с СПЭ-изоляцией 90 °С (70 °С – для кабелей с БПИ), при перегрузке – 130 °С (90 °С – для кабелей с БПИ). При коротком замыкании обеспечивается боль-

ший ток термической устойчивости (250 °С вместо 200 °С). Увеличение допустимой температуры позволяет увеличить пропускную способность кабеля [2].

Кроме того, следует отметить высокие изоляционные характеристики изоляции из СПЭ по сравнению с БПИ (коэффициент диэлектрических потерь равен 0,001 вместо 0,008) [2].

Однако, как и все полимерные материалы, сшитый полиэтилен при попадании воды предрасположен к развитию водных триингов. При наличии пустот и примесей посторонних веществ в изоляции химические вещества, содержащиеся в воде, вызывают деструкцию полимерных цепей. В итоге в изоляции образуются полости, в которых накапливается вода. Под воздействием электрического поля полярные молекулы воды образуют древовидные структуры, направленные вдоль силовых линий электрического поля, – водные триинги [3].

Начиная с 80-х годов 20-го века, ведутся исследования по повышению устойчивости полиэтилена к развитию водных триингов.

В США разработан «триингостойкий сшитый полиэтилен» со специальными добавками (ТСПЭ), в Европе – «сополимерный сшитый полиэтилен» (ССПЭ) – сополимер на основе полиэтилена и сополимера этилена с алкилакрилатом. Кабели с изоляцией с ТСПЭ и СПЭ неоднократно испытывались в воде под электрическим напряжением и продемонстрировали замечательные показатели по остаточной электрической прочности [4].

ТСПЭ и СПЭ стали основными изоляционными материалами при использовании в кабелях среднего напряжения в Северной Америке, Европе. Также растет доля применения ТСПЭ в Азии и Латинской Америке [4].

На рисунке представлены данные по остаточной электрической прочности кабелей с разным типом изоляции, значения которой получены по результатам испытания после старения миниатюрных кабелей в течение 1000 часов при воздействии электрического поля при наличии воды [4].

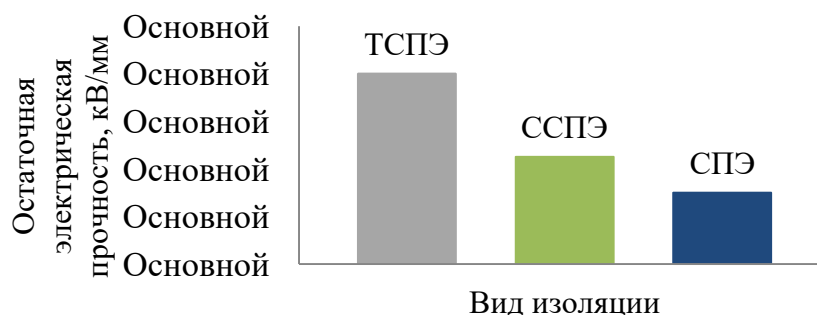


Рис.1 Данные по остаточной электрической прочности после испытаний кабелей с изоляцией ТСПЭ, СПЭ, СПЭ

Продолжаются поиски решений для предотвращения развития триингов в изоляционных материалах. Разработчик ТСПЭ (компания Dow) работает над совершенствованием и созданием изоляционных материалов без включений (высокочистых), материалов внешней оболочки, обеспечивающих более надежную защиту кабеля от воды, гладкой границы раздела «электропроводящий экран/изоляция» [5].

Также проводятся исследования по улучшению характеристик диэлектрической проницаемости материалов силовых кабелей с использованием новой технологии с включением наночастиц. Специалистами Aswan University и South Valley University (Египет) было изучено влияние добавления определенных типов и концентраций наночастиц для контроля электрических и диэлектрических свойств. Метод мульти-наночастиц, применяемый для повышения электрических и диэлектрических характеристик изоляции силовых кабелей, оказался успешней, чем метод добавления отдельных наночастиц [6].

Учитывая преимущества изоляции из триингостойкого сшитого полиэтилена, крупнейшие российские энергокомпании в последние годы используют при строительстве новых кабельных линий кабели с изоляцией из СПЭ (ПАО «Россети Московский регион», АО «ЛОЭСК», АО «ЕЭСК», АО «Мособлэнерго», АО «Концерн Росэнергоатом» и другие).

По сравнению с применением кабелей с БПИ количество отказов в распределительных кабельных сетях для кабелей с изоляцией из триингостойкого СПЭ значительно сократилось и в среднем составляет 0,005-0,01 случая на каждые 100 км кабеля в год [2].

Развитие изоляционных материалов для кабельной промышленности происходит также в группе резиновой изоляции. Одной из причин старения резины является процесс окисления в местах двойных связей. Окисление происходит под действием факторов окружающей среды (высокой температуры, ультрафиолета, наличия озона, кислорода) [1].

Некоторые авторы [1] отмечают, что перспективными для кабелей являются резины на основе бутилкаучука (содержит малое количество двойных связей) и этиленпропиленового каучука (не содержит двойных связей).

Кабели с изоляцией из этиленпропиленовой резины (ЭПР) по сравнению с кабелем, имеющим БПИ-изоляцию, обладают меньшей массой, меньшим диаметром, не имеют ограничений по прокладке на трассах с перепадами уровней. Кроме того, они обладают большей допустимой температурой жилы при номинальном режиме, режиме перегрузки и коротком замыкании [7, 8].

Сравнение характеристик изоляции в зависимости от применяемого материала приведено в таблице.

Таблица 1

Характеристики изоляции

Характеристика	Материал изоляции		
	БПИ	СПЭ	ЭПР
Температура жилы, °С:			
при работе в номинальном режиме	70	90	до 105
при перегрузке	90	до 130	до 140
при коротком замыкании	до 200	250	до 300
Минимальная температура прокладки без предварительного прогрева, °С	0	-15 (до -20)	-15 (до -40)
Температура эксплуатации, °С	-50...+50	-50...+50	-60...+50
Радиусы изгибов	25D _н	(12-15)D _н	4D _н
Ограничения по прокладке на трассах с большой разностью уровней	да	нет	нет
Коэффициент диэлектрических потерь (тангенс угла диэлектрических потерь)	0,008	0,001 (до 0,0004)	0,002
Применение во взрывоопасных зонах	да	нет	да

По сравнению с изоляцией из СПЭ изоляция из ЭПР обладает большим коэффициентом диэлектрических потерь (0,002 против 0,001 у СПЭ). Однако, кабели с ЭПР могут использоваться во взрывоопасных зонах. Применение кабелей с полиэтиленовой изоляцией, к которым относятся кабели с СПЭ-изоляцией, в соответствии с п. 7.3.102 Правил устройства электроустановок во взрывоопасных зонах запрещено.

Исходя из приведенных данных, можно сделать вывод, что перспективными материалами для изоляции кабелей являются триингостойкий сшитый полиэтилен и этиленпропиленовая резина. Применение кабелей с указанными видами изоляции должно зависеть от конкретных условий эксплуатации оборудования.

Список литературы:

1. Канискин, В.А. Эксплуатация силовых электрических кабелей : в 2 ч. Ч. 1 : учебное пособие [Текст] / В.А. Канискин, А.И. Таджибаев. – Санкт-Петербург : ПЭИПК, 2001. – 61 с.
2. Кабели среднего напряжения: сшитый полиэтилен или бумага? [Электронный ресурс] // RusCable.ru. – Режим доступа :

https://www.ruscable.ru/article/Kabeli_srednego_napryazheniya_sshityj_polietilen_ili_bumaga/. – 01.11.2021.

3. Кожевников, А. Современная кабельная изоляция. Стойкость к трингам подтверждена испытаниями [Электронный ресурс] / А. Кожевников // Новости электротехники. – 2006. – №2. – Режим доступа : <http://news.elteh.ru/arh/2006/38/68.php>. – 01.11.2021.

4. Мендельсон, А. Мировой опыт применения изоляции из триингостойкого сшитого полиэтилена для кабелей среднего напряжения с длительным сроком эксплуатации [Текст] / А. Мендельсон, М.У. Аартс // Кабели и провода. – 2005. – №5. – с. 23-29.

5. Новые электропроводящие и изоляционные материалы компании Dow для кабельной промышленности [Электронный ресурс] // RusCable.ru. – Режим доступа : https://www.ruscable.ru/news/2009/03/12/novye_elektroprovodyashhie/. – 01.11.2021.

6. Thabet, A. Modern Electrical Insulations for Power Cables Using Nanoparticles Technique [Электронный ресурс] / A. Thabet, N. Salem, E.E.M. Mohamed // International Journal on Electrical Engineering and Informatics. – 2018. – 2013. – №2. – р. 271-279. – DOI: 10.15676/ijeei.2018.10.2.6.

7. Кабели с изоляцией из этиленпропиленовой резины [Электронный ресурс] // Мир современных материалов. – Режим доступа : <http://worldofmaterials.ru/spravochnik/primenenie/28-silovye-kabeli/65-kabelis-izolyatsiej-izetilenpropilenovoj-reziny>. – 01.11.2021.

8. Кабель для взрывоопасных зон [Электронный ресурс] // Энергетика и промышленность России. – 2013. – №15-16. – Режим доступа : <https://www.eprussia.ru/epr/227/15217.htm>. – 01.11.2021.

Информация об авторах:

Леонова Юлия Юрьевна, ассистент, студент гр. ЭАм-211, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, leonovayuyu@kuzstu.ru

Негадаев Владислав Александрович, к.т.н., доцент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, negadaevva@kuzstu.ru