

М.П. ГАВРИЛОВ, студент группы ЭЭ6-152 (КузГТУ)  
Научный руководитель Т.Л. ДОЛГОПОЛ, доцент (КузГТУ)  
г. Кемерово

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАБЕЛЕЙ НА ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ С РАЗНЫМИ ВИДАМИ ИЗОЛЯЦИИ**

Кабели высоких классов напряжения незаменимы в системах электроснабжения промышленных предприятий и городов из-за высокой плотности застройки их территорий. Кабельные линии обеспечивают более высокую степень надежности электроснабжения потребителей особенно по сравнению с воздушными линиями, выполненными голыми проводами, меньшие потери электроэнергии при ее передаче.

Пропускная способность кабелей, механические свойства, уровень и продолжительность допустимой аварийной перегрузки зависят от вида изоляции, используемой в их конструкции.

В настоящее время в России и странах СНГ наиболее распространены высоковольтные кабели с пропитанной бумажной изоляцией (БПИ). Несмотря на то, что кабели с БПИ обладают достаточно высокими и стабильными электрическими характеристиками, они имеют ряд существенных недостатков: большие радиусы изгибов при изменении направления трассы, ограничение при прокладке линий под большим уклоном из-за стекания пропиточного состава и т.д.

В последние годы на смену традиционным кабелям с БПИ приходят кабельные линии нового поколения, в которых используются изоляционные материалы с улучшенными диэлектрическими и тепловыми свойствами, что позволяет существенно повысить пропускную способность ЛЭП. Во многих странах в течение продолжительного времени наблюдается устойчивая тенденция активного использования в распределительных сетях средних классов напряжения кабелей с теплостойкой экструдированной изоляцией: сшитого полиэтилена (СПЭ изоляция) и этиленпропиленовой резины (EPR изоляция). В настоящее время в промышленно развитых странах Европы и Америки практически 100% рынка силовых кабелей занимают кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Промышленное производство высоковольтных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена началось еще в 70-х годах прошлого столетия. Под сшивкой понимается создание вместо линейной структуры пространственной за счет поперечных связей между макромолекулами полиэтилена, что увеличивает механическую прочность полимера, а самое главное, его нагревостойкость. Недостатком СПЭ изоляции является образование дефектов – водных триингов, которые развиваются при проникновении в ди-

электрик из окружающей среды влаги с агрессивными веществами. Под воздействием электрического поля полярные молекулы воды выстраиваются в древовидные цепочки, направленные вдоль силовых линий электрического поля – водные триинги. Благодаря современным технологиям, эти проблемы решены, и в настоящее время в кабельной продукции используется триингостойкий сшитый полиэтилен (ТСПЭ) и сополимерный полиэтилен (ССПЭ).

По пропускной способности кабели с СПЭ изоляцией значительно превосходят кабели с бумажной пропитанной изоляцией (табл.1). Достоинством кабеля с СПЭ-изоляцией является его экологическая безопасность. Однако основное преимущество кабелей с СПЭ изоляцией – это их низкая повреждаемость. В России отсутствует статистика о количестве повреждений кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, но по данным зарубежных источников процент электрических пробоев этих кабелей на 2–3 порядка ниже, чем кабелей с бумажной изоляцией.

Кабели с СПЭ изоляцией не могут являться безальтернативной заменой кабелям с БПИ, так как согласно ПУЭ применение кабелей с полиэтиленовой изоляцией или оболочкой запрещается во взрывоопасных зонах (ВОЗ) всех классов. Благодаря активному развитию изоляционных материалов для кабельной промышленности, происходит существенное изменение характеристик не только в группе полиэтиленовой изоляции, но и в традиционной для кабельной промышленности – резиновой. Обычная резиновая изоляция (РТИ-1) представляет собой смесь натурального или синтетического каучука с различными добавками, каучука в ней – 35%. Главным преимуществом резиновой изоляции является ее высокая эластичность, поэтому она широко используется в производстве гибких кабелей. Основным недостатком резиновой изоляции является ее низкая термостойкость – не более 65°C, это меньше, чем у всех других видов изоляции. Кроме этого, резиновая изоляция чувствительна к ультрафиолетовому излучению, под действием которого быстро теряет свою эластичность.

В связи с этим, в зарубежных странах были разработаны новые материалы, отвечающие требованиям современной кабельной промышленности, этиленпропиленовая резина (EPR). В зарубежных странах имеется огромный опыт по производству и эксплуатации силовых кабелей с этиленпропиленовой изоляцией. Наиболее широкое применение кабели с EPR изоляцией нашли в европейских странах с большой площадью прибрежных зон – Испании и Италии, т.к. данные регионы отличаются высокими среднегодовыми температурами и большим количеством солнечных дней в течение года.

Отличительной особенностью силовых кабелей с EPR изоляцией является то, что они могут применяться во взрывоопасных зонах любых классов. Таким образом, в настоящее время кабели с EPR изоляцией являются единственной современной альтернативой для замены морально и физиче-

ски устаревших кабельных линий с БПИ для прокладки во взрывоопасной среде. В настоящее время кабели с этиленпропиленовой изоляцией используются при разработке месторождений нефти и газа, в угольных шахтах и рудниках по добыче калийных солей и полиметаллических руд.

Кроме этого, оболочки силовых кабелей с EPR изоляцией содержат светостабилизаторы и не подвержены разрушающему воздействию солнечной радиации в течение всего срока службы.

Таблица 1

Сравнение характеристик различных изоляционных материалов, используемых для производства кабелей на напряжение 6 – 35 кВ

Характеристики	Кабель с БПИ	Кабель с СПЭ изоляцией	Кабель с EPR изоляцией
Температура жилы при работе в номинальном режиме, °С	70	90	90 (до 105)
Температура жилы при перегрузке, °С	90	105 - 110	105 – 110 (до 140)
Min температура прокладки без предварительного подогрева, °С	0	-15	-15 (до -40)
Уровень прокладки, м	не более 15	без ограничений	
Тангенс угла диэлектрических потерь (tgδ)	0,008	0,001	0,004
Электрическая прочность, кВ/мм	50	80	60
Электрическое сопротивление, не менее, МОм·км	200	200	200
Минимальный радиус изгиба, кратный диаметру кабеля	25	15	от 7
Срок эксплуатации, год	30	40	40
Применение во ВОЗ всех классов	да	нет	да

Кабели с EPR изоляцией выпускаются в одно – и трехжильном исполнении на номинальное напряжение 3 – 35 кВ. Зависимость пропускной способности кабелей с медными жилами сечением 70 мм<sup>2</sup> в зависимости от уровня напряжения и способа прокладки приведена в виде гистограммы (рис.1). В отличие от силовых кабелей с бумажной пропитанной изоляцией кабели с EPR изоляцией в одножильном исполнении выпускаются сечением до 630 мм<sup>2</sup>, а в трехжильном – до 500 мм<sup>2</sup>, что позволяет использовать их для прокладки одиночных питающих линий к потребителям с большими токовыми нагрузками.

Класс напряжения кабелей не оказывает существенного влияния на их пропускную способность (рис.1).

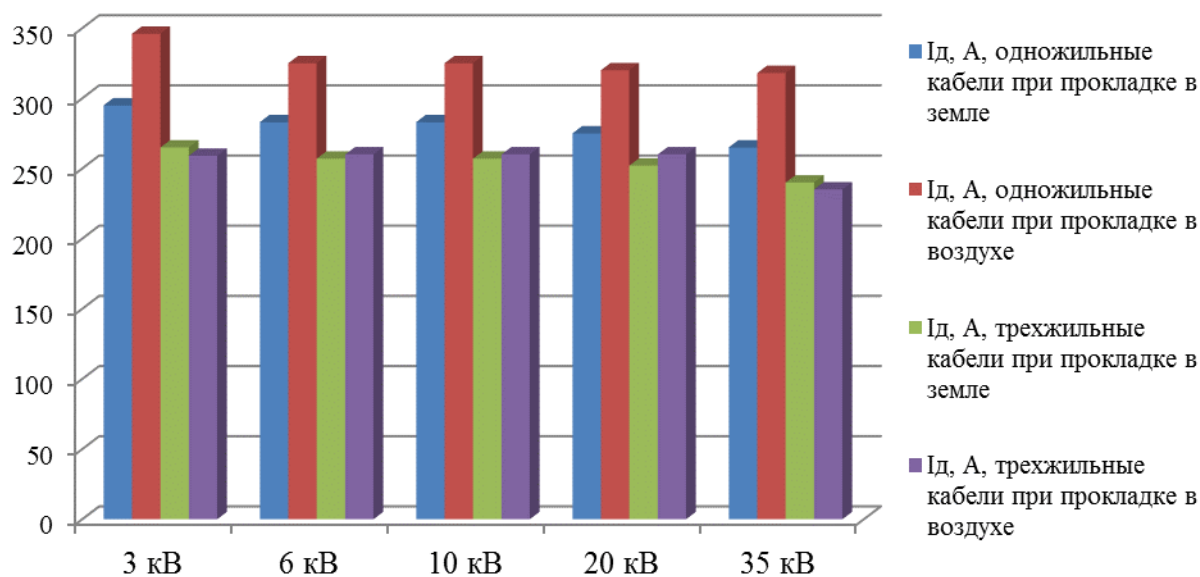


Рис. 1 Зависимость пропускной способности для кабелей с EPR изоляцией в зависимости от класса напряжения

Как следует из гистограммы пропускная способность одножильных кабелей при прокладке в воздухе почти на 20% выше, чем при прокладке в земле, а для трехжильных – она практически не зависит от способа прокладки.

В Кузбассе в самой крупной сетевой компании - филиале ПАО «МРСК Сибири» - «Кузбассэнерго – РЭС» кабельные линии напряжением 6 – 10 кВ имеют общую протяженность 178,838 км, из них кабели с бумажной изоляцией имеют длину 152,338 км линий, т.е. 85 % от общей протяженности, остальные кабели с поливинилхлоридной изоляцией. В городских электрических сетях Кузбасса все вновь прокладываемые и реконструируемые высоковольтные кабельные линии выполняются кабелем с СПЭ-изоляцией [3].



Рис.2. Прокладка кабельной линии с трансформаторной подстанцией ТП 110/6 ЛПДС «Анжерская» г. Анжеро-Судженск

Кроме этого, в 2014 году был реализован проект по монтажу кабельной линии с СПЭ изоляцией длиной 1500 м, соединяющей нефтеперерабатывающий завод «Северный Кузбасс» с трансформаторной подстанцией ТП 110/6 ЛПДС «Анжерская» [2].

Сравнение пропускной способности высоковольтных кабелей с разными видами изоляции приведено в виде гистограммы (рис.2). Для классов напряжения 6 – 10 кВ пропускная способность современных кабелей практически одинакова, для более высоких уровней напряжения (20 – 35 кВ) у кабелей с СПЭ изоляцией она меньше более чем на 20% при прокладке в земле, чем у кабелей с EPR изоляцией, а при прокладке в воздухе – почти одинаковы.

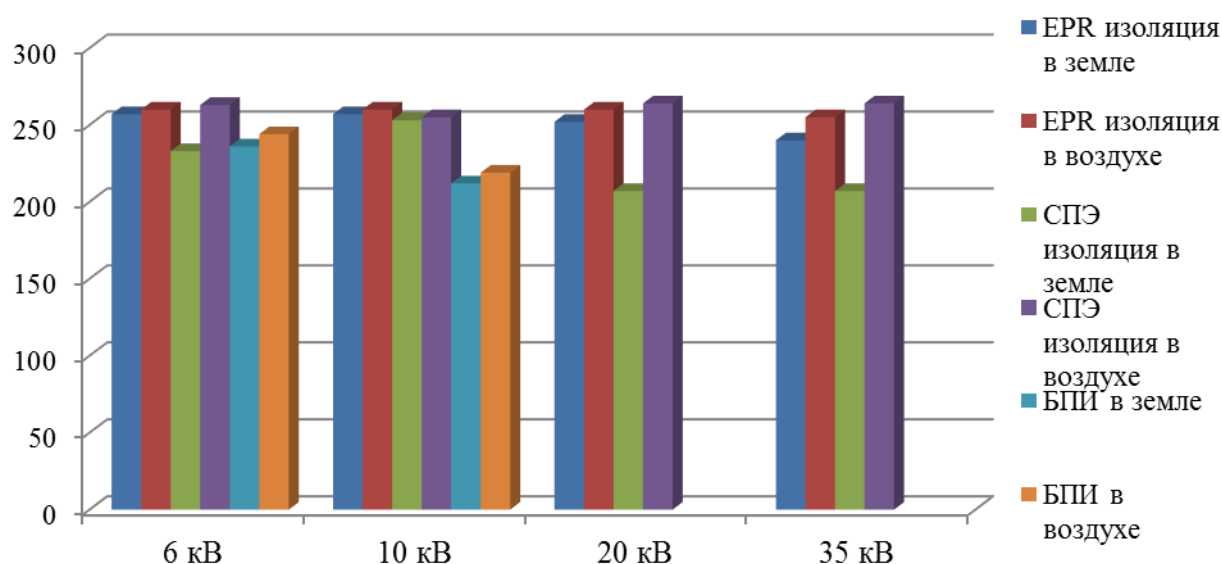


Рис 3. Сравнение пропускной способности трехжильных кабелей с медными жилами с разными видами изоляции (70 мм<sup>2</sup>)

Для классов напряжения 6 – 10 кВ пропускная способность современных кабелей практически одинакова, для более высоких уровней напряжения (20 – 35 кВ) у кабелей с СПЭ изоляцией она меньше более чем на 20% при прокладке в земле, чем у кабелей с EPR изоляцией, а при прокладке в воздухе – почти одинаковы.

Допустимые токи для кабелей с бумажной изоляцией в зависимости от условий прокладки на 15-30% меньше, чем у современных кабелей. Это уменьшает проектное сечение и вес всей конструкции, что сказывается на стоимости кабельных линий с учетом всех затрат.

#### Список литературы

1. Сравнение маслонаполненных и СПЭ-кабелей для сетей сверхвысокого напряжения // Энергетика оборудование документация [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://forca.ru/stati/kabeli/sravnenie-maslonapolnennyh-i-spe-kabeley-dlya-setey-sverhvyssokogonapryazheniya.html>.
2. Строительство ВЛ 3,6/6 кВ для НПЗ «Северный Кузбасс» // Компания Northern Engineering Direction [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ned-perm.ru/News/Details/21>.
3. Анализ состояния электрооборудования в филиале холдинга ОАО «МРСК Сибири» – «Кузбассэнерго – РЭС» // Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярск [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s022/s022-001.pdf>

.