

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КАБЕЛЯ ДЛЯ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

Стасевская А.И., Анисимова О.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Источники возобновляемой энергии – один из самых современных способов получения электричества с использованием таких природных явлений, как: ветра, воды и солнечного тепла. Прогнозы учёных относительно развития этого направления говорят о том, что доля возобновляемых источников в мировом масштабе энергопотребления может составить к 2030 году до 20–30 %. Примечательно, что ветроэнергетические установки среди прочих нетрадиционных источников энергии получили, пожалуй, самое широкое распространение.

Энергия ветра неисчерпаема, повсеместно доступна и более экологична. В первой половине 2013 г по всему миру было установлено 1 080 МВт мощностей ветроэнергетических установок, то есть за 6 месяцев их общемировая мощность выросла на 20 %. Морские ветротурбины дают электричество стабильнее наземных, однако нужда в фундаментах ограничивает их мелководьем и задирает цены на энергию. В итоге к июлю 2013 г общая мощность морских ветряков поднялась до 6 500 МВт и до конца 2015 г возрастет, по меньшей мере, до 7 100 МВт, что позволяет говорить о дальнейшем развитии ветроэнергетики.

На сегодняшний день одним из сдерживающих факторов развития данного вида энергии в России являются особенности климата тех регионов, где установка генератора наиболее рациональна. Представляется целесообразным оценить, какие задачи с точки зрения использования возобновляемых источников энергии, а именно ветроэнергетики, возникают перед производителями кабелей.

Имеющиеся многочисленные зарубежные проекты не в полной мере соответствуют предъявляемым требованиям эксплуатации, что влечет за собой внесение существенных изменений. Таким образом, помимо основного оборудования и металлоконструкций это касается и кабельно-проводниковой продукции, используемой в изделиях.

Целью статьи является разработка рекомендаций по выбору изоляционных материалов для кабелей, используемых в ветрогенераторах.

В настоящее время на территории РФ не существует отдельного класса кабельных изделий для ветроэнергетических установок. Используются кабели более или менее удовлетворяющим требованиям, что соответственно и ведет к снижению срока службы кабельного изделия.

Наибольшую сложность с позиции разработчиков кабелей представляет вывод электроэнергии вдоль башни. Дело в том, что в зависимости от направления ветра корзина ветроэнергетической установки может поворачиваться вокруг своей оси, поэтому кабель подвергается многократному кручению, в том числе при отрицательных температурах окружающей среды (до – 40 °С). Следует, кабель должен выдерживать большие крутящие нагрузки, обладать особыми механическими и температурными характеристиками, особой прочностью на растяжение.

Очевидно, что кабели известных конструкций не удовлетворяют требованиям, предъявляемым условиями их эксплуатации в течение всего срока службы, и их неизбежная замена в то или иное время является очень дорогостоящим мероприятием.

Поэтому в настоящее время на основе зарубежных стандартов могут быть сформулированы следующие требования к кабелям, используемым в башне ветроэнергетической установки [4, 5]:

- высокие показатели механических характеристики (соответствие стандарту МЭК 60811-1-2);
- стойкость к действию агрессивных сред; (соответствие стандарту МЭК 60811-2-1);
- пожаробезопасность (соответствие стандарту МЭК 60332-1);
- обеспечение в условиях возгорания плотности дыма, не превышающей заданной (соответствие стандарту МЭК 61034-2).

Для выбора изоляционного материала для кабелей, используемых в ветряных установках, были проведены испытания в области теплового старения и старения в агрессивной среде, существующих конструкций на соответствие выше сформулированным требованиям. Были выбраны кабели с изоляцией и оболочкой из поливинилхлорида (ПВХ), полиэтилена (ПЭ) и термоэластопласта (ТЭП).

Методика испытаний проводилась следующим образом:

Тепловое старение в проводилось соответствие стандарту ГОСТ МЭК 60811-1-2-2011.

Испытания в агрессивных средах проводилось в соответствии стандарту ГОСТ МЭК 60811-1-1-2006.

Данные образцы кабелей соответствуют существующим стандартам, прошли контрольные испытания и не являются дефектными.

Под действием повышенной температуры в материале происходят химические и физические изменения, которые приводят к постепенному изменению структуры и свойств материалов. Проведем оценку результатов исследования полимерных материалов в области теплового старения.

На рисунках 1, 2 приведены результаты измерений в области теплового старения относительного удлинения при разрыве ϵ_r и прочности на разрыв σ_r в зависимости от времени старения для каждого полимерного материала:

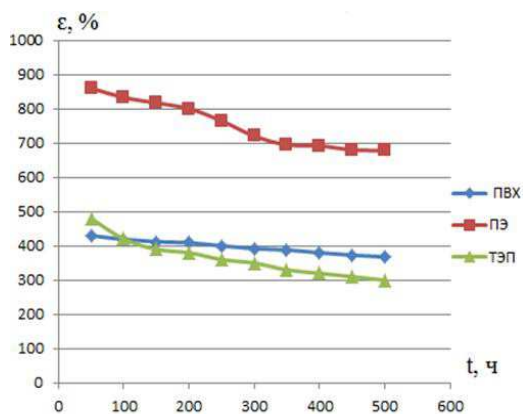


Рис. 1. Относительное удлинение при разрыве ϵ_r для оболочек кабелей из ПВХ, ПЭ, ТЭП

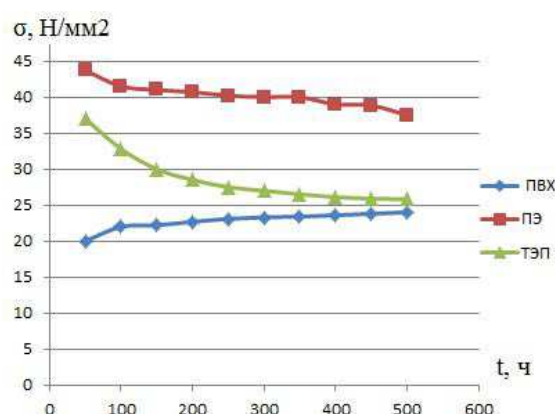


Рис. 2. Прочность на разрыв σ_r для оболочек кабелей из ПВХ, ПЭ, ТЭП

Согласно полученным данным, относительное удлинение при разрыве ϵ_r гораздо ниже у ТЭП, по сравнению с ПЭ и ПВХ пластиком, а предел прочности на разрыв σ_r ПВХ пластика гораздо ниже по сравнению с пределом прочности ПЭ и ТЭП. Таким образом, скорость протекания описанных процессов зависит от скорости изменения концентрации различных добавок: стабилизатора или пластификатора, а так же его распределения по объему оболочки кабеля и от степени усадка.

Стойкость полимерных материалов к воздействию агрессивных сред является основным свойством, определяющим целесообразность применения и срок службы кабельного изделия.

На рисунках 3, 4 приведены результаты измерений относительного удлинения при разрыве ϵ_p и прочности на разрыв σ_p в зависимости от времени старения для каждого полимерного материала:

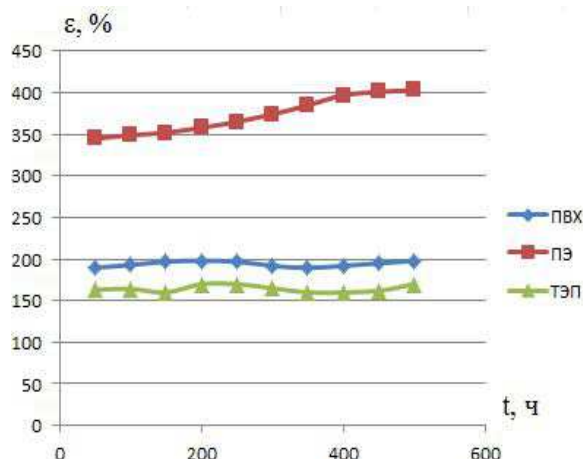


Рис. 3. Относительное удлинение при разрыве ϵ_p для оболочек кабелей из ПВХ, ПЭ, ТЭП

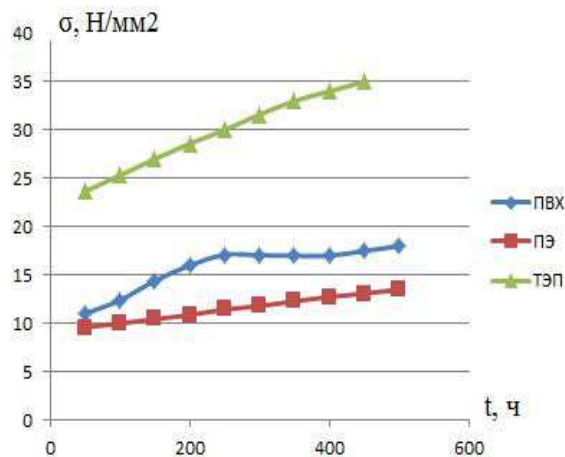


Рис. 4. Прочность на разрыв σ_p для оболочек кабелей из ПВХ, ПЭ, ТЭП

Скорость протекания деструкционных процессов происходящих в полимере, зависит от способности полимера сопротивляться разрушительному воздействию температуры, агрессивной среды и воздействию механических сил. Факторы, участвующие в ухудшении свойств материала, так же определяются конструкционными особенностями кабеля, надмолекулярной структурой полимера, технологическими режимами при изготовлении кабеля, влажностью и давлением окружающего воздуха.

Подводя итоги, можно констатировать, что по результатам проведенных механических испытаний для каждого полимерного материала из графиков видно, что максимальное сохранение механических характеристик в области теплового старения составило у ПЭ:

Относительное удлинение при разрыве $\epsilon_p = 880\%$

Прочность на разрыв $\sigma_p = 44$ Н/мм²

По результатам старения в агрессивной среде, максимальное сохранение механических характеристик составило:

Относительное удлинение при разрыве, так же у ПЭ, где $\epsilon_p = 350\%$

Прочность на разрыв у ТЭП, где $\sigma_p = 22$ Н/мм²

По результатам проделанной работы, рекомендуемый изоляционный материал в конструкции кабеля для ветрогенератора – кабель с изоляцией и оболочкой из ПЭ. В соответствии данной конструкции, данный полимерный материал максимально сохраняет комплекс положительных свойств полимера, по результатам проведенных испытаний, обладает лучшими показателями механических характеристик и является наиболее устойчивый к тепловому старению и старению в агрессивной среде.

Соответствие требованиям, предъявляемым к кабелям для ветроэнергетических установок, а так же свойства полимерных материалов и их длительное сохранение, существенно влияют на срок службы кабельного изделия и целесообразность применения в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. (курс лекций) Кафедра теплоэнергетических систем, – М.: 2004. – 348 с.
2. Голицын М.В., Баженова О.Н., Пронина Н.В., Архипов А.Я., Макарова Е.Ю. Энергия: экономика, техника, экология. – М.: Наука, 2010. – 125
3. Миткевич А.С., Паверман Н.Г., Елагина А.Н. Кабельные композиции на основе полиэтилена и поливинилхлорида. Тенденции развития в России // Кабели и провода. – М.: 2007. - с. 3-7.
4. Моисеева В.Г. Термоэластопласты. / В.Г. Моисеева М., Химия 1985. -184с.

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ КАБЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ ЧЕСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА

Котов В.В., Щербакова Ю.М.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В последнее годы широко внедряется частотный способ плавного регулирования электроприводов, построенных на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Данный способ основан на использовании преобразователей частоты (ПЧ). Силовая часть такого ПЧ состоит из регулируемого выпрямителя, фильтра и автономного инвертора на основе широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Большими преимуществами использования частотных преобразователей являются высокая точность и возможность постоянно управлять крутящим моментом и скоростью двигателя. Однако у такой системы управления есть существенные недостатки: сильное электромагнитное излучение и большие перенапряжения в кабеле питания электродвигателя.

Высокий уровень электромагнитных помех обусловлен очень короткими интервалами включения и выключения БТИЗ и высокой частотой импульсов частотного преобразователя (до 20 кГц). Это приводит к искажению синусоидальности напряжения на выходе преобразователя. Сильное электромагнитное излучение, обусловленное в значительной мере кабелем питания электродвигателя, вызывает наводки на элементы распределительной сети, устройства и информационные сети. Хорошее экранирование кабелей обеспечивает нейтрализацию этого излучения.

Другой проблемой являются возросшие электрические нагрузки на систему изоляции. Напряжение, генерируемое преобразователем частоты, имеет основную волну приблизительно синусоидальной формы с частотой от 0 до 400 Гц в зависимости от скорости вращения. Однако в процессе работы также образуются более высокие гармоники на частотах примерно до 100 МГц. Сигнал основной частоты и более высоких гармоник передается по кабелю питания к электромотору.

В процессе работы на концах кабеля возможно образование импульсных волн, которые в свою очередь создают перенапряжения вследствие отражения гармоник (т.н. эффект отраженной волны). Этот эффект возникает когда длина кабеля питания превышает длину волны гармоники. Если длина меньше длины волны гармоники, то переходные процессы проявляются на выходе частотного преобразователя. В результате генерируется напряжение, превышающее номинальное напряжение электромотора в 2 – 3 раза, что создает чередующие нагрузки на полимерную изоляцию. Этот фактор должен учитываться при конструировании изоляции кабеля, чтобы