

УДК 620.16; 620.17; 620.97; 621.315

Анисимова Ольга Александровна

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Россия, Томск¹
Кандидат технических наук
E-Mail: Olan70@yandex.ru

Стасевская Анжелика Игоревна

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Россия, Томск
Студент
E-Mail: Stasevskaya_a@sibmail.com

Кабели для ветрогенераторов

Аннотация: Ветроэнергетика является активно развивающимся направлением энергетики. И одним из наиболее распространенных возобновляемых источников энергии. Среди очевидных преимуществ, которыми обладают ветроустановки, специалисты отмечают, прежде всего: экологическую чистоту, отсутствие необходимости в обеспечении топливом, низкую шумность или вообще бесшумность при работе и автономность ветроэнергетической установки. На сегодняшний день одним из сдерживающих факторов развития данного вида энергии в России являются особенности климата тех регионов, где установка генератора наиболее рациональна. Тем не менее, класса кабелей непосредственно для этой области не существует. Авторы поставили перед собой задачу подобрать наиболее подходящую конструкцию кабеля отечественного производства для ветрогенератора с точки зрения увеличения длительности срока службы. В связи с этим наиболее показательными будут являться механические свойства и стойкость кабеля к кручению.

В данной статье представлены результаты изменения механических свойств (относительного удлинения при разрыве и прочности на разрыв) оболочки кабельных изделий с наиболее распространенными марками изоляции и оболочки в процессе теплового старения. Показано, что кабели с ПЭ оболочкой имеют преимущество перед кабелями с ПВХ оболочкой по механическим показателям.

Ключевые слова: Поливинилхлоридный пластикат; тепловое старение; ветрогенератор; срок службы; полиэтилен; механические свойства, возобновляемые источник энергии.

Идентификационный номер статьи в журнале 93TVN114

¹ 634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30

Olga Anisimova

National research Tomsk polytechnic university
Russia, Tomsk
E-Mail: Olan70@yandex.ru

Anzhelika Stasevskaya

National research Tomsk polytechnic university
Russia, Tomsk
E-Mail: Stasevskaya_a@sibmail.com

Wind turbines cables

Abstract: Wind engineering is developed field of energetic and the most spreading renewable power source. The main advantages of wind turbines are ecological compatibility, fuel absence, quietness and independence.

Region climate features is one of the constraints today. Nevertheless there are no cables for this field of energetics. Authors aim for choose the most suitable Russian cable design for wind turbines with addition life time. According to it polymer mechanical properties are the most illustrative.

Mechanical properties (elongation at break and tensile strength) changing during thermal aging are represented in this article for cables with the well spread insulation and sheath materials. It is established that PE cables have advantages over PVC cables.

Keywords: Polyvinylchloride compound; thermal aging; wind turbines; life time, polyethylene; mechanical properties; renewable power sources.

Identification number of article 93TVN114

Введение

Ветроэнергетика – является активно развивающимся направлением.

Ветроэнергетические установки среди прочих нетрадиционных источников энергии получили, пожалуй, самое широкое распространение [1].

Среди очевидных преимуществ, которыми обладают ветроустановки, специалисты отмечают, прежде всего:

1. экологическую чистоту;
2. отсутствие необходимости в обеспечении топливом;
3. низкую шумность или вообще бесшумность при работе;
4. автономность ветроэнергетической установки.

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 [2].

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.

Никакие усилия производителей кабелей, направленные на создание прочных и надежных проводов для воздушных линий электропередач (ЛЭП) не идут ни в какое сравнение, с теми проблемами, которые приходится решать при разработке и производстве силовых кабелей для ветроэнергетических комплексов.

Силовые кабели, используемые в ветрогенераторах должны передавать многоамперный ток, для чего используются токоведущая жила большого сечения. В корзине ветроэнергетической установки применяются кабели и провода для внутренних соединений, контрольные кабели и кабели управления с числом жил от 2 до 23, кабели для структурированных систем, реже оптические кабели.

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, по этой причине кабель подвергается кручению, в том числе при отрицательных температурах окружающей среды (до -40°C).

Очевидно, что кабели известных конструкций не удовлетворяют требованиям, предъявляемым условиями их эксплуатации на ветроэнергетических установках в течение всего срока службы, и их неизбежная замена в то или иное время является дорогостоящим мероприятием [3]. Следует конструкция и технические характеристики кабелей должны минимизировать эксплуатационные затраты в течение всего срока службы. А такой срок должен составлять минимум 25-30 лет. Для обеспечения этой характеристики силовых кабелей создаются специальные проекты, которые занимаются проблемами и исследованием старения исключительно кабелей для ветроэнергетической отрасли.

Кроме того, необходимо отметить, что силовые кабели, предназначенные для ветровой энергетики, обязаны выдерживать воздействие трансмиссионных масел. Как бы ни была совершенна конструкция гондолы ветрогенератора, но менять масло все равно необходимо, и

если кабель не в состоянии противостоять его разрушительному воздействию, то неприятности и ремонт гарантированы. Кабели с такими свойствами чрезвычайно дороги. До последнего времени американские производители стремились использовать компаунды для изоляции и оболочки, которые не содержат галогены. Вероятность нахождения людей, которые могут отравиться продуктами горения, в гондole ветрогенератора, во время пожара, должна быть минимальная. Поэтому мы обращаем свое внимание на поливинилхлоридные (ПВХ) пластикаты и кабельный полиэтилен (ПЭ), которые намного дешевле по сравнению с другими полимерными материалами, существующими на мировом рынке.

Экспериментальная часть

Эксплуатируемые на действующих ветроэнергетических установках кабели не являются пожаробезопасными, в случае пробоя изоляции и возникшего пожара может привести к катастрофическим последствиям. Поэтому в настоящее время могут быть сформулированы следующие требования к кабелям, используемым в ветрогенераторах:

- стойкость к закручиванию в диапазоне температур от -40 до $+70^{\circ}\text{C}$;
- маслостойкость;
- пожаробезопасность (соответствие стандарту МЭК 60332-1 или выше);
- стойкость к действию коррозионно-активных газов;
- обеспечение в условиях возгорания плотности дыма, не превышающей заданной;
- повышение нагревостойкости кабелей до $+90^{\circ}\text{C}$.

Кабели с такими приведенными требованиями чрезвычайно дороги. До последнего времени американские производители стремились использовать компаунды для изоляции и оболочки, которые не содержат галогены. Возникает вопрос разработки конструкции кабеля при котором, данная проблема будет минимальной.

Особое внимание уделяем ПВХ пластикатам, а именно их стойкости к тепловому старению. Согласно существующим представлениям тепловое старение наиболее заметно сказывается на механических свойствах полимера [4,5]. ПВХ пластикаты и ПЭ значительно дешевле, но в то же время великолепно выдерживают разрушительное воздействие масел и низких температур.

В данной работе представлены изменения прочности σ_r и удлинения при разрыве ϵ ПВХ пластиката и кабельного ПЭ в зависимости от времени старения в конструкции кабеля. Для исследования выбраны наиболее распространенные материалы марок ОМ-40 (ПВХ пластикат) и 271 – 70К (ПЭ) [5].

Образцы кабелей длиной 20 см выдерживались в термошкафу при 100°C согласно (IEC 8111-1-2). Рассматриваемые в данной работе марки кабелей имеют допустимую температуру нагрева жил 70°C . Деструкция при таких рабочих температурах не является основным процессом. Поэтому исследуемые кабели подвергались старению при температуре 100°C , что позволяет ускорить процесс старения полимера и не исказить реальный механизм старения в процессе эксплуатации.

Старение образцов проводилось в течение 500 часов. Каждые 50 ч образцы изымались из термошкафа. После выемки, для стабилизации кинетических процессов, образцы выдерживались в течение суток при температуре 20°C перед проведением испытаний, после чего с образцов кабелей снималась оболочка и проводились испытания прочности на разрыв

σ_r и относительного удлинения ϵ_r при разрыве (BS EN 50396). После окончания старения неиспользованные образцы были выдержаны в печи при комнатной температуре в течение недели, проведена визуальная оценка результатов старения, и испытания механических свойств.

Измерения механических характеристик проводились на разрывной машине ИР 5040-5 при скорости нагружения 100 мм/мин и предельной нагрузке 5 кН.

Результаты и их обсуждение

Конструкция исследуемых кабелей с ПВХ или ПЭ изоляцией и оболочкой на стойкость к механическим нагрузкам представлена на рисунке 1. Необходимо отметить, что данные образцы кабелей соответствуют существующим стандартам, прошли контрольные испытания и не являются дефектными.

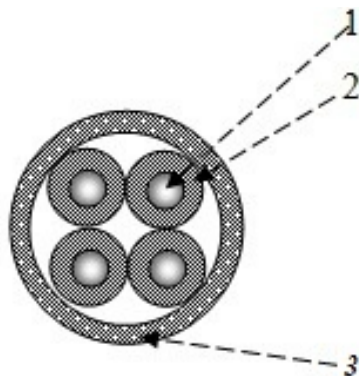


Рис. 1. Конструкция исследуемых кабелей
Элементы конструкции: 1) медный проводник; 2) изоляция; 3) внешняя оболочка
(разработано автором)

На рисунках 2, 3 приведены результаты измерений относительного удлинения при разрыве ϵ и прочности на разрыв σ_r в зависимости от времени старения для ПВХ пластика:

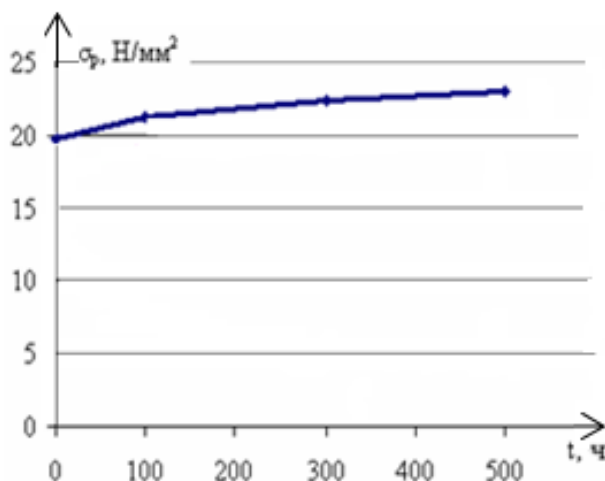


Рис. 2. Прочность на разрыв σ_r [11]

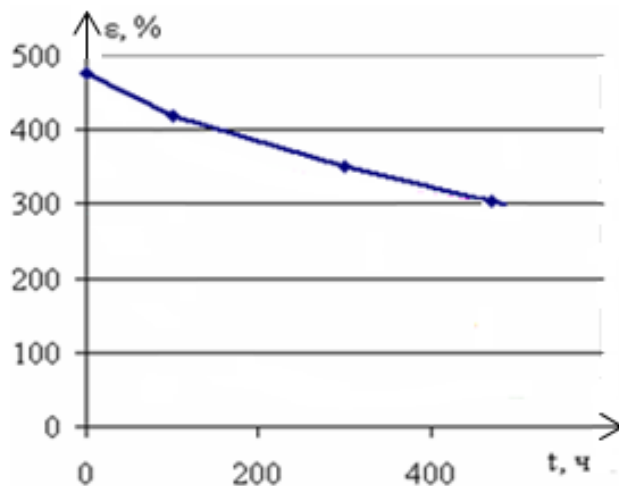


Рис. 3. Относительное удлинение при разрыве ϵ [11]

Для образцов ПВХ оболочек марки данного кабеля наблюдается монотонное снижение относительного удлинения при разрыве и повышение разрывной прочности по мере старения. Известно, что тепловое старение ПВХ пластикутов происходит в два этапа [6,7,8]. На первом этапе основную роль в ухудшении свойств материала играет испарение пластификатора, то есть снижение пластичности материала. В результате чего теряется эластичность пластикута и снижается его холодостойкость, это приводит к снижению температуры стеклования, повышению твердости вплоть до трещинообразования. На более поздних стадиях старения основную роль играют химические процессы термоокислительной деструкции. На этом этапе происходит изменение цвета, выделение летучих соединений и усадка.

На рис. 4 и 5 представлены результаты измерений относительного удлинения при разрыве ϵ и прочности на разрыв σ_r в зависимости от времени старения для ПЭ:

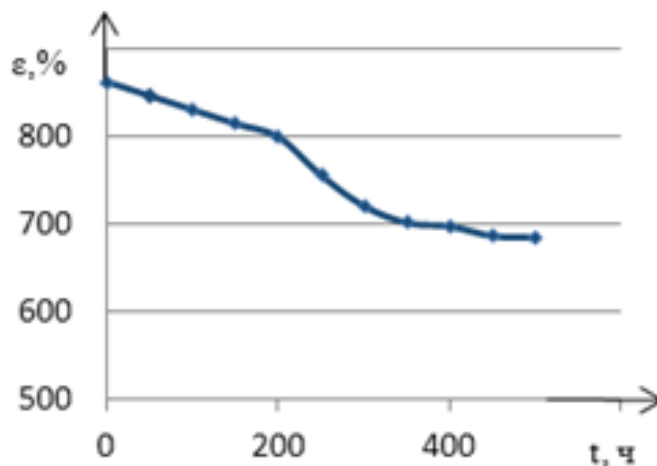


Рис. 4. Прочность на разрыв σ_r [11]

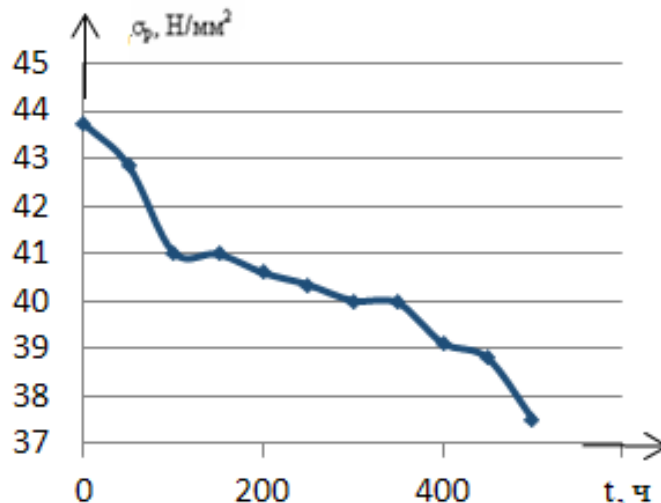


Рис. 5. Относительное удлинение при разрыве ϵ [11]

Снижение прочности на разрыв и относительного удлинения при разрыве для ПЭ связано с термоокислительными процессами, происходящими в полимере под длительным воздействием температуры.

Согласно полученным данным механические характеристики ПВХ [9] пластика быстрее снижаются по сравнению с механическими характеристиками ПЭ [10]. Скорость протекания описанных процессов зависит от скорости изменения концентрации пластификатора, его распределения по объему оболочки кабеля и от степени усадка. Перечисленные факторы, участвующие в ухудшении свойств материала, в свою очередь, определяются температурой старения, надмолекулярной структурой, конструктивными особенностями кабеля, технологическими режимами при изготовлении кабеля, влажностью и давлением окружающего воздуха. Соответственно кабели с оболочкой и изоляцией из ПЭ, как видно из рисунков 2 и 3 будут лучше выдерживать деформацию кручения и иметь более длительный срок службы, чем кабели с изоляцией и оболочкой из ПВХ.

Выводы

По результатам проведенного механические испытания кабелей с ПВХ и ПЭ [4,5,6] изоляцией и оболочкой на стойкость к механическим нагрузкам, можно заключит следующее:

1. Кабель с изоляцией и оболочкой из ПВХ пластика не подходит по своим механическим свойствам т.к. наблюдается явное старение материала, что естественно ведет к более короткому сроку службы кабельного изделия.

2. Полученные результаты является не целесообразными с экономической точки зрения, так как влияние внешних факторов приводит к ухудшению свойств материала оболочки в результате старения и, в конечном счете, ведет к снижению эксплуатационной надежности кабеля. Так же по техническим причинам, где особое внимание уделяется многократному кручению кабеля.

3. ПЭ имеет лучшие характеристики по сравнению с ПВХ, соответственно кабель с изоляцией и оболочкой из ПЭ является лучшим вариантом для ветрогенераторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.// (Курс лекций) Кафедра теплоэнергетических систем, 2004 г. – 174 с.
2. Алиев И.И. Кабельные изделия, справочник, "ВШ", М., 2004 (621.315(035), А-50).
3. Свалов Г.Г., Хромова Г.К. Проблемы качества на российском рынке кабельной продукции.// Кабели и провода, №6, 2008, с. 4–8.
4. Барашков О.К. Некоторые критические замечания относительно методов предсказания сроков службы кабельных ПВХ-пластикатов // КАБЕЛЬ-news. – 2008. – №9. – С. 50–58.
5. Миткевич А.С., Паверман Н.Г., Елагина А.Н. Кабельные композиции на основе полиэтилена и поливинилхлорида. Тенденции развития в России // Кабели и провода. – 2007. – № 1. – С. 3–7.
6. Пешков И.Б., Уваров Е.И. Кабельная промышленность России и стран СНГ. Этапы развития, новые задачи.// Кабели и провода, №5, 2009, с. 4–10.
7. Ульянов В.М., Рыбкин Э.П., Гуткович А.Д., Пишин Г.А. Поливинилхлорид. М.: Химия, 1992, 288 с.
8. Ким В.С., Анисимова О.А., Аникеенко В.М., Анненков Ю.М., Исследование влияния стальной брони кабеля на изменение механических свойств ПВХ пластика при тепловом старении.// Изв. ТПУ, Т314, №4, 2009, с. 98–102.
9. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ: пер. с англ./ под ред. Р.Ф. Гроссмана. – 2-е изд., СПб.: НОТ, 2009, 608 с.
10. Голосов А.П., Динцес А.И. Технология производства полиэтилена и полипропилена. - М.: Химия, 1978. стр. 12-49, 122-127.

Рецензент: Ивашутенко Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры Электроснабжение промышленных предприятий Энергетического института Томского политехнического университета.

REFERENCES

1. Ageev V.A. Netradicionnye i vozobnovljaemye istochniki jenergii.//(Kurs lekcij) Kafedra teplojenergeticheskikh sistem, 2004 g. – 174 s.
2. Aliev I.I. Kabel'nye izdelija, spravocnik, "VSh", M., 2004 (621.315(035), A-50).
3. Svalov G.G., Hromova G.K. Problemy kachestva na rossijskom rynke kabel'noj produkcii.// Kabeli i provoda, №6, 2008, s. 4–8.
4. Barashkov O.K. Nekotorye kriticheskie zamechanija otnositel'no metodov predskazaniya srokov sluzhby kabel'nyh PVH-plastikatov // KABEL"-news. – 2008. – №9. – S. 50–58.
5. Mitkevich A.S., Paverman N.G., Elagina A.N. Kabel'nye kompozicii na osnove polijetilena i polivinilhlorida. Tendencii razvitija v Rossii // Kabeli i provoda. – 2007. – № 1. – S. 3–7.
6. Peshkov I.B., Uvarov E.I. Kabel'naja promyshlennost' Rossii i stran SNG. Jetapy razvitija, novye zadachi.// Kabeli i provoda, №5, 2009, s. 4–10.
7. Ul'janov V.M., Rybkin Je.P., Gutkovich A.D., Pishin G.A. Polivinilhlomid. M.: Himija, 1992, 288 s.
8. Kim V.S., Anisimova O.A., Anikeenko V.M., Annenkov Ju.M., Issledovanie vlijanija stal'noj bronii kabelja na izmenenie mehanicheskikh svojstv PVH plastikata pri teplovom starenii.// Izv. TPU, T314, №4, 2009, s. 98–102.
9. Rukovodstvo po razrabotke kompozicij na osnove PVH: per. s angl./ pod red. R.F. Grossmana. – 2-e izd., SPb.: NOT, 2009, 608 s.
10. Golosov A.P., Dinces A.I. Tehnologija proizvodstva polijetilena i polipropilena. - M.: Himija, 1978. str. 12-49, 122-127.