

УДК 621.315.616

Бекмагамбетова Куралай Хамитовна – к.т.н., профессор (Алматы, АИЭС)

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОБОЯ ПОЛИИМИДНОЙ ПЛЕНКИ ПИ_{АБ}, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ПОСТОЯННОМ И ПЕРЕМЕННОМ НАПРЯЖЕНИЯХ

В Институте химических наук им. А.Б. Бектурова НАН РК разработан полиимид алициклического строения, который по сравнению с общеизвестными ароматическими полиимидами обладает такими преимуществами, как:

- доступность материала АБимид и возможность организации крупнотоннажного производства в ближайшие годы на базе продуктов переработки нефти;
- легкая перерабатываемость и технологичность получения конечных изделий, подверженность оптимизации состава для получения изделий с заранее заданными свойствами;
- возможность получения электрической изоляции класса нагревостойкости 200 °С и термостабильностью;
- получение электрической изоляции из данного вида полиимида, обладающей высокими электрофизическими свойствами при толщинах в несколько раз меньших, чем полиимиды ароматического строения [1].

Указанные преимущества дают предпосылки к получению изоляции для электрических машин, работающих в экстремальных условиях. В подавляющем большинстве случаев обмотки машин выходят из строя, в результате пробоя изоляции отдельных проводников или корпусной изоляции. Поэтому, при выборе рабочих напряженностей различных изоляционных конструкций и при усовершенствовании технологии получения новых изоляционных материалов необходимо знание диэлектрических свойств, особенно, электрической прочности изоляции [4].

Пробивное напряжение изоляции является одним из важнейших параметров, определяющих качество и работоспособность изделия из данного вида материала, в том числе корпусной пленочной изоляции.

С этой точки зрения, целесообразно установить основные закономерности пробоя разработанного полиимида, в зависимости от температуры и формы электрического поля.

Так, механизм пробоя одного и того же диэлектрика может изменяться с изменением длительности воздействия напряжения и температуры окружающей среды. Для полиимидных пленок ПИ_{АБ}, также как и для всех остальных полимерных изоляционных пленок, характерен большой разброс значений пробивного напряжения $U_{пр}$ и еще больший разброс значений времени жизни ($t_{ж}$). Поэтому, для оценки электрической прочности в зависимости от температуры, нами был выбран известный метод, который заключается в повышении напряжения до пробоя при фиксированном значении температурной выдержки образца. Изучение температурной зависимости электрической прочности пленок ПИ_{АБ} проводилось на образцах пленок толщиной 0,025 мм и 0,125 мм. Пробой производился на постоянном и переменном напряжениях.

Установлено, что с повышением температуры значение $E_{пр}$ у полиимида ПИ_{АБ} (пленки толщиной 50 мкм) сначала не изменяется, затем происходит незначительное снижение и при температурах выше 300 °С идет резкое уменьшение электрической прочности. Зависимость электрической прочности от температуры при постоянном напряжении несколько выше, чем при переменном напряжении. При постоянном и переменном напряжениях, для пленок толщиной 0,025 мм снижение $E_{пр}$ начинается с

(370÷380) °С. Это может быть обусловлено некоторым повышением пластичности полимера вследствие его линейного характера [1, 2].

Несколько иная картина наблюдается для толстых изоляционных пленок. Для пленок $h=0,125$ мм и при переменном, и при постоянном напряжениях постепенное снижение электрической прочности начинается уже с температур (250÷275) °С. В данном случае можно предположить присутствие теплового пробоя, т.е. тепло, возникшее вследствие диэлектрических потерь и ионизационных процессов в объеме диэлектрика. Это происходит из-за увеличившейся толщины пленки, когда количество отводимого тепла с изоляции меньше подводимого. Для сравнения, на рисунке 1 приведены зависимости электрической прочности пленок Каптон, ПИАБ, ПМ и изоляции обмоточного провода ПНЭТ-имид от температуры для различных толщин изоляции при постоянном и переменном напряжениях.

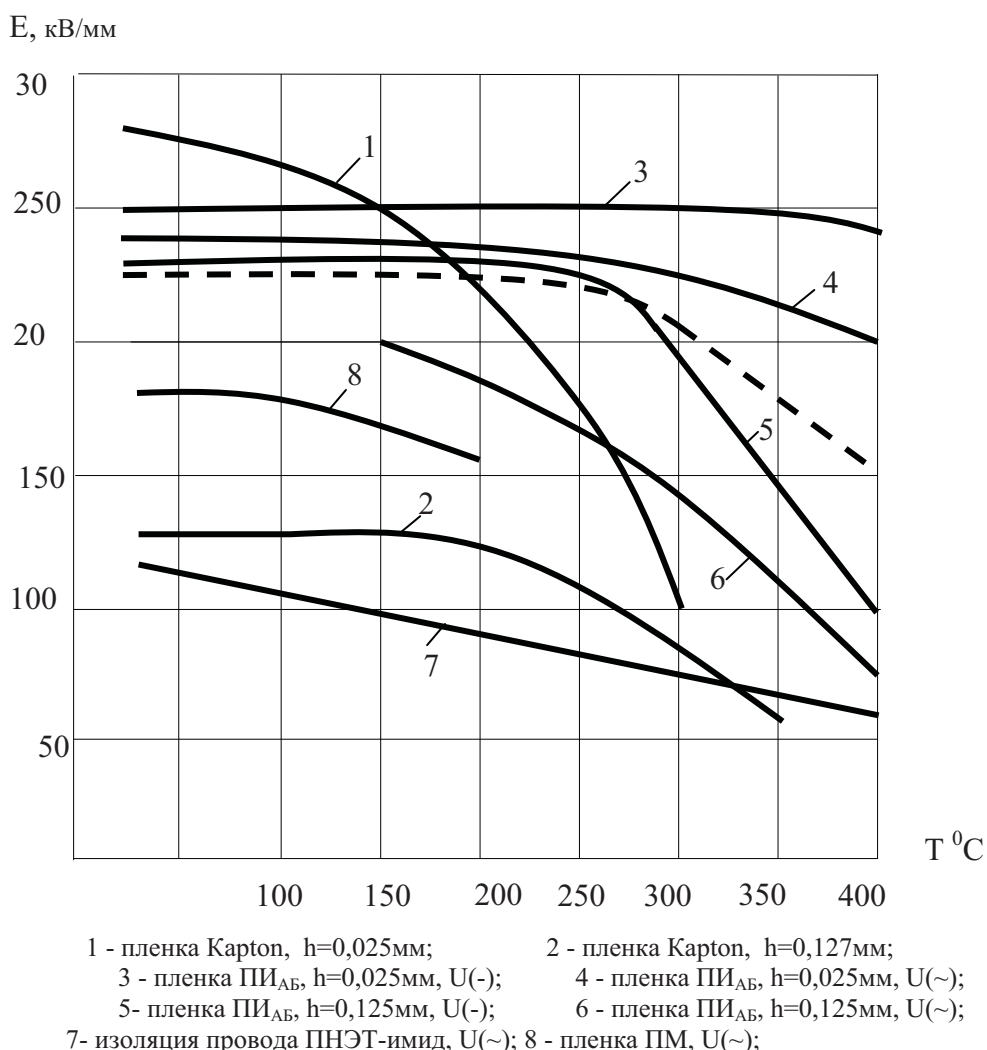


Рисунок 1 - Зависимости электрической прочности пленок Каптон, ПИАБ, ПМ и изоляции обмоточного провода ПНЭТ-имид от температуры для различных толщин изоляции при постоянном и переменном напряжениях

Как видно из рисунка 1, хотя величина электрической прочности, при соответствующей толщине, при температуре 20 °С у пленки Каптон больше, чем у ПИАБ, уменьшение E_{np} начинается с начала температурного диапазона [8] и при 300 °С величина E_{np} снижается на 50%. Для ПИАБ, при тех же условиях и толщинах, снижение E_{np} начинается, как указывалось выше, только при температуре 370 °С для тонких пленок.

Это говорит о том, что полиимид ПИ_{АБ} в более широком температурном интервале устойчив к воздействию энергии высокого напряжения.

Термические и электрические свойства полиимидов неразрывно связаны с составом и особенностями их строения, что было подтверждено на примере большого числа ароматических, алифатических и алициклических полиимидов [1-3]. Аналогичная зависимость выявлена и для новых, изученных в настоящей работе, полиимидов.

Авторами [1,7,8] было показано, что данные полиимиды в зависимости от природы диангидридной, диаминой составляющей, а также растворителя в котором ведется синтезирование, устойчивы на воздухе в пределах температур 370 °С. При нагревании до температуры 400 °С в течение 6 ч. полиимид теряет в весе лишь 5% массы. На температурные характеристики заметное влияние оказывают условия термического разложения.

По характеру интегральных и дифференциальных кривых распределения E_{np} можно судить о качестве пленки, прежде всего о наличии слабых мест, которые приводят к большим значениям вероятности пробоя в области малых значений E_{np} . Анализ интегральных кривых распределения показывает [7], что можно применять двойное распределение Вейбулла (в зависимости от условий опыта и свойства пленки).

По мере увеличения температуры интегральные вейбулловские распределения по E_{np} смещаются в область более низких значений E_{np} , что показано на рисунке 2, а значение E_{np} для вероятности пробоя 0,63 уменьшается.

На рисунке 3 показана зависимость $E_{np}=f(T)$. В интервале температур от 20 °С до 300 °С E_{np} остается практически постоянной, а при дальнейшем увеличении температуры E_{np} уменьшается. В интервале температур (300÷350) °С зависимость $E_{np}=f(T)$ имеет прямолинейный характер, что отражено на рисунке 3.

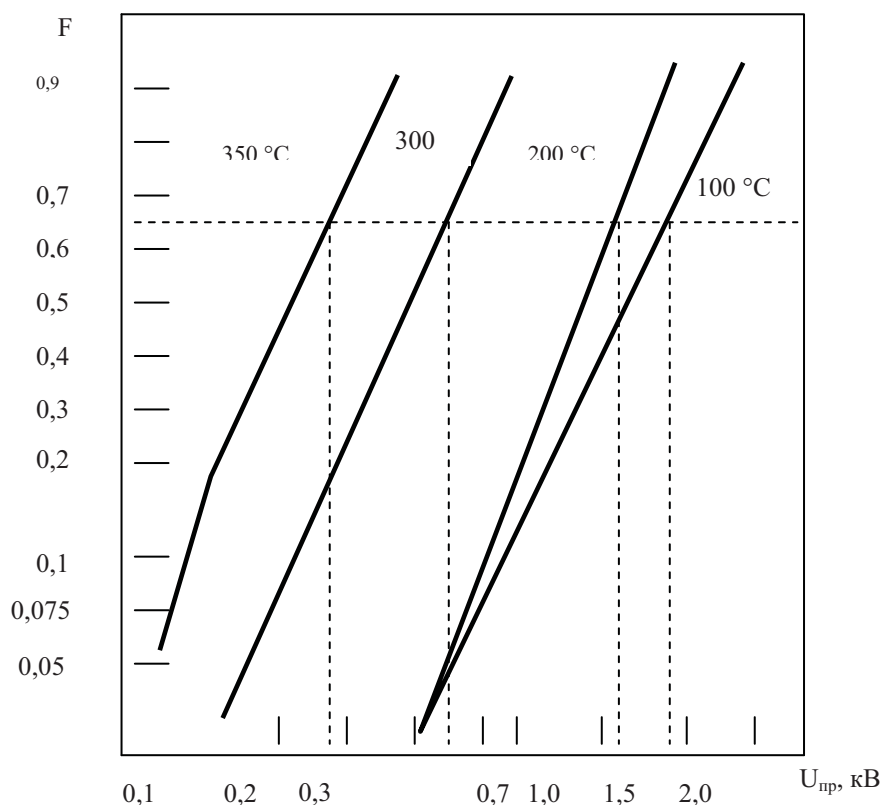


Рисунок 2 – Распределение Вейбулла по E_{np} пленки ПИ_{АБ} при разных температурах

В перспективных типах электрических машин: асинхронных двигателях, генераторах и крупных электрических машинах максимальные температуры обмотки вряд ли будут превосходить 100-130 °С. Тем не менее, класс нагре-востойкости должен быть не ниже F (155 °С) [1] для обеспечения необходимого запаса, особенно, если учитывать возможность работы в аномальных режимах, наличие местных повышенных нагревов конструктивных и активных элементов, прилегающих к обмотке.

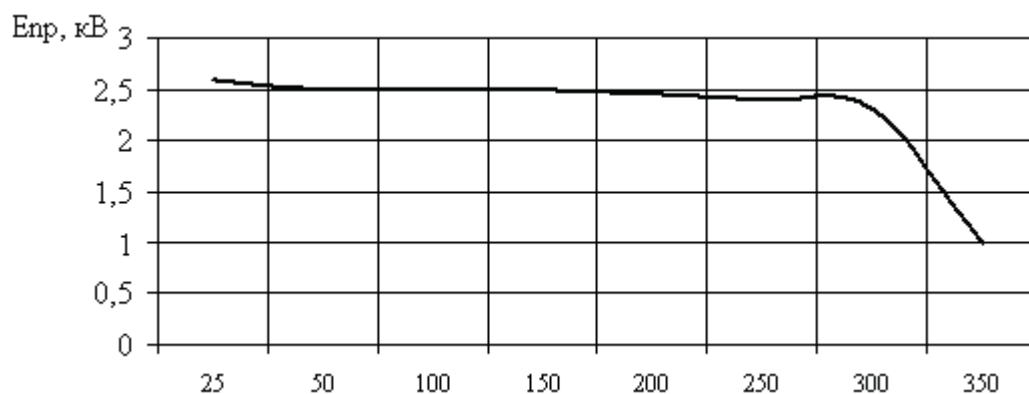


Рисунок 3 – Зависимость $E_{пр}=f(T)$ ПИ_{АВ} для вероятности пробоя 0,63

В современных типах преобразователей электрической энергии – в крупных электрических машинах высоковольтная корпусная изоляция образует одну конструкцию вместе с элементами крепления обмотки статора. Важнейшим требованием является обеспечение стабильной работы всей конструкции, по крайней мере, в течение межремонтного периода, но не менее 5 лет, т.е. 44000 часов [4,7]. Этим требованиям отвечает исследуемый полимер.

Выводы:

Электрическая прочность полиимида алициклического строения при переменном напряжении несколько ниже, чем при постоянном, но, по сравнению с другими полиимидами имеет высокие значения до температур 250-275°С, т.е. 200-250 кВ/мм. Пока это значение самое высокое из всех известных полимеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жубанов Б.А. Введение в химию поликонденсационных процессов. Алма-Ата, Наука, 1974, 198 с.
2. Бессонов М.И., Котон М.М., Кудрявцев В.В., Лайус Л.А. Полиимиды - класс термостойких полимеров. Л., Наука, 1983, 328 с.
3. Котон М.М. Роль ароматических полиимидов в современной науке и технике //Прикладная химия, 1995, т.68, №5, с. 822-826.
4. Бернштейн Л.М. Изоляция электрических машин общепромышленного применения. М., Энергия, 1971, 367 с.
5. Техника высоких напряжений /Под ред. Д.В.Разевига. М., Энергия, 1976, 486 с.
6. Каганов З.Г. Внутренние перенапряжения и другие воздействия на витковую изоляцию электрических машин. М., Госэнергоиздат, 1969, 238 с.
7. Борисова М.Э, Марченко М.С. Электрическая прочность пленок полиимида. //М., Электротехника 1998, №5, с. 4-55.
8. Ахметтаев Д.Д., Бекмагамбетова К.Х., Жубанов Б.А., Кравцова В.Д. Новые электроизоляционные полиимидные лаки /Сб.докл. IY Межд. симп. "Электротехника - 2010 год": М., 1997, т.1. с.173-177.
9. Ахметтаев Д.Д., Бекмагамбетова К.Х., Кравцова В.Д. и др. Полиимидные лаки для повышения надежности электрического оборудования //Алматы, Поиск, 1997, №5, с. 18-21.