

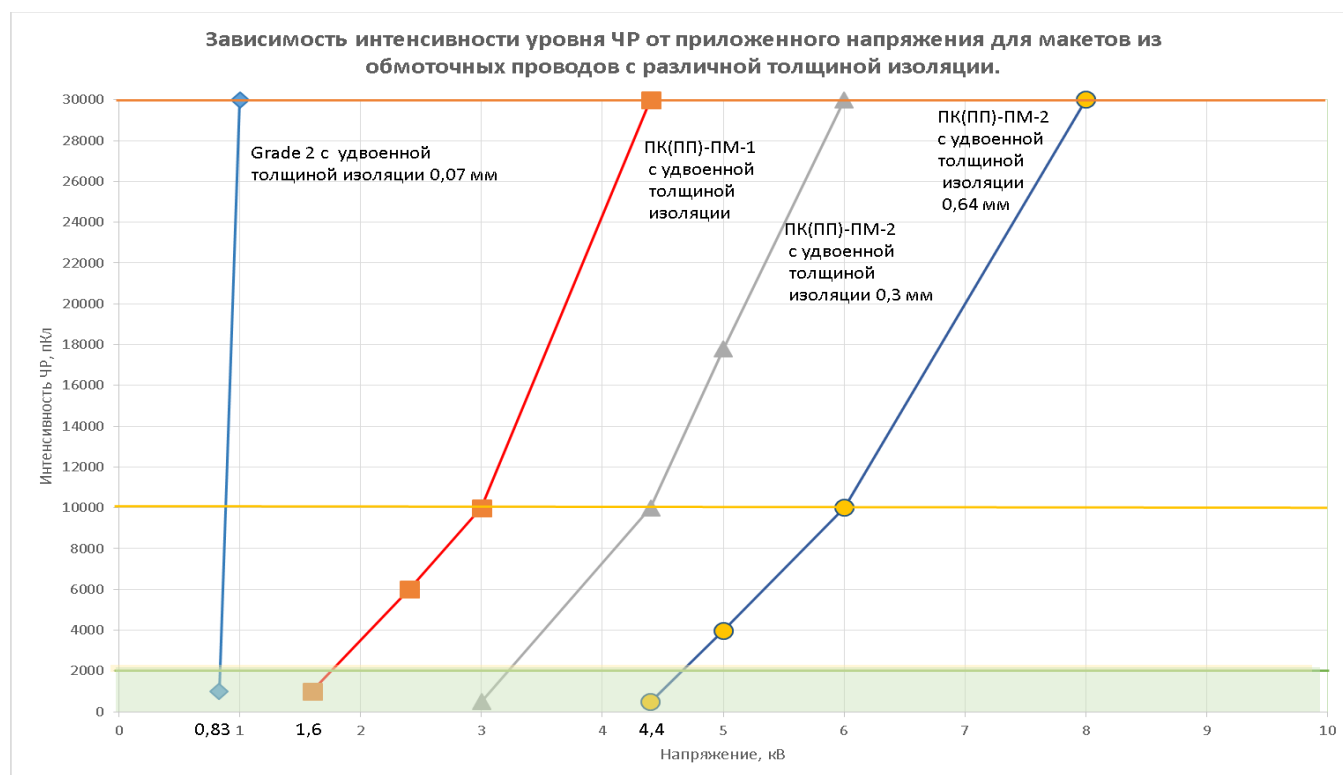
## Оптимальный выбор электрической изоляции двигателей, работающих в системе частотно-регулируемого привода (ЧРП).

В современном мире всегда существовала потребность в приводах с регулируемой скоростью вращения. Это реально стало осуществляться в последние три десятилетия. Появились асинхронные двигатели, работающие в системе частотно-регулируемого привода. Сегодня доступны ЧРП с очень широким диапазоном мощностей от 100Вт до 1000 кВт.

Система частотно-регулируемого привода определяет наличие широтно-импульсной модуляции. Это означает, что необходимо иметь преобразователи способные до определённого уровня сглаживать высоковольтные градиенты напряжения, вызванные изменением частот напряжения. Однако при этом на линии подводящего провода и длины проводника катушки возможно возникновение импульсного перенапряжения в 2-3 раза выше номинального, что приводит к возникновению частичного разряда, а соответственно к разрушению изоляции и электрическим пробоям. Для предотвращения этого, изоляция должна быть такой, чтобы выдерживать воздействие импульсных перенапряжений. Научно-исследовательские работы и статистика эксплуатации подконтрольных двигателей, работающих в системе ЧРП показывают, что уровень надёжности системы изоляции можно контролировать путём замеров напряжения, при котором возникают частичные разряды в изоляции и при каких напряжениях нарастает их интенсивность, вплоть до пробоя изоляции.

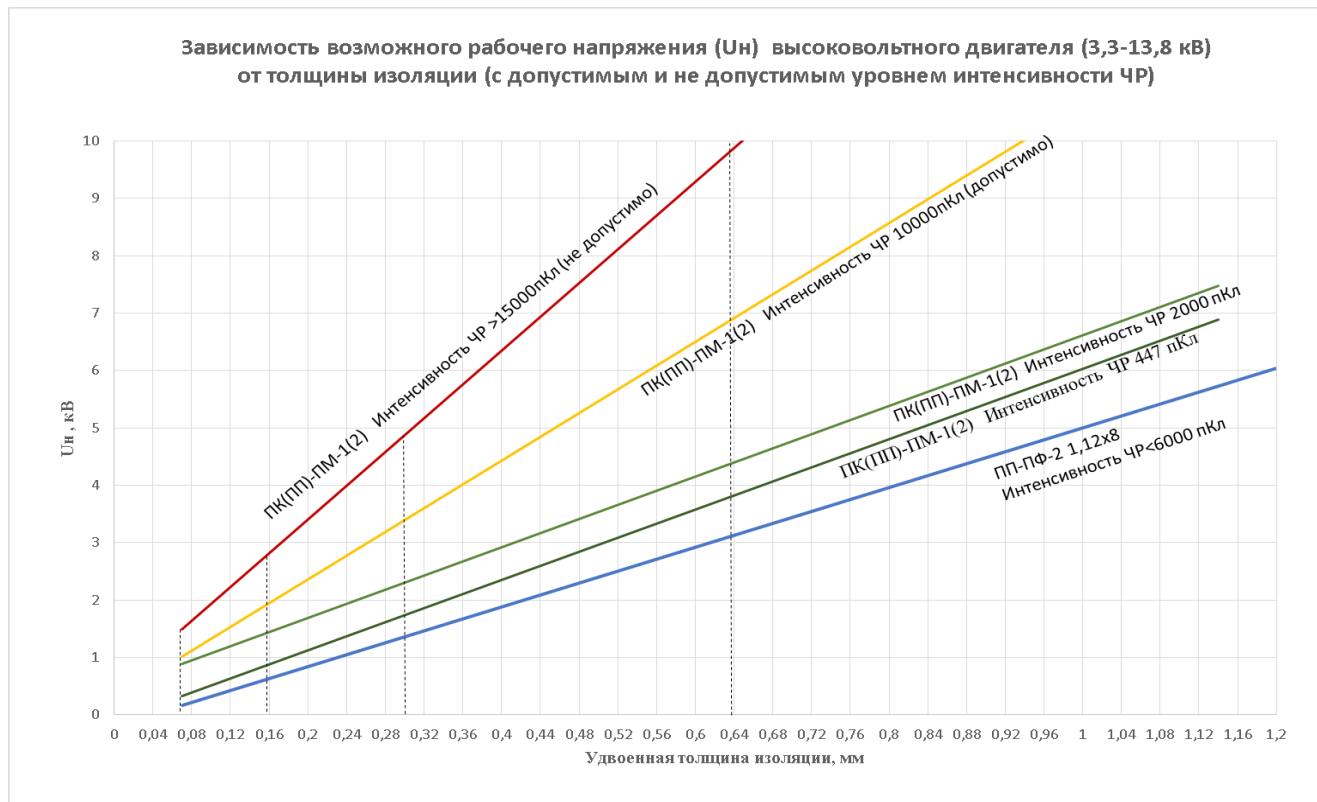
По результатам лабораторных исследований макетов различных СИ и проводов марок ПК (ПП)-ПМ-1 т.0,16, ПК(ПП)-ПМ-2 т.0,3-0,64, изготавливаемых по ТУ 27.32.11-121-31885305, мы видим на рис.1 зависимость интенсивности уровня ЧР от приложенного напряжения для макетов из проводов с различной толщиной изоляции.

Рис.1



На рис.2 показана зависимость возможного рабочего напряжения высоковольтного двигателя от толщины изоляции (с допустимым и не допустимым уровнем интенсивности ЧР).

Рис.2



Вопрос возможного допустимого уровня ЧР в системах изоляции должен определяться для каждого типа электрических машин конкретно, исходя из типа электрических машин и системы их управления.

Опыт работы и данные лабораторных исследований подтверждают, что вывод, сделанный европейскими специалистами в части допустимых значений ЧР в обмотках высоковольтных машин соответствует действительности. Данные показаны в таблице 1.

Таб.1

Оценка	Уровень ЧР в секции паза	Уровень ЧР в лобовой части обмотки
Новое оборудование		
- отлично	<2000 пк	<2000 пк
- хорошо	2000-4000 пк	2000-4000 пк
- удовлетворительно	4000-10000 пк	4000-10000 пк
- допустимо	10000-15000 пк	10000-15000 пк
- не допустимо	>20000 пк	>20000 пк

Следует отметить, что вышеприведённую таблицу нужно воспринимать как общую рекомендацию, касающуюся электрических двигателей, работающих в классе напряжений 3,3 кВ-13,8 кВ. Для электродвигателей, работающих в системе с частотно-регулируемым приводом, имеющих номинальное напряжение до 1 кВ уровень возможных ЧР должен быть в пределах:

- $U_n - 0$  пк
- $2 U_n \leq 500$  пк
- $3 U_n \leq 2000$  пк

Подобные таблицы существуют и для других классов электрических машин. При проведении измерений ЧР на вращающихся машинах очень важно накапливать полученные данные, чтобы иметь возможность прогнозирования рабочего ресурса машин.

Если машина имеет высокий уровень ЧР в начале эксплуатации и во время эксплуатации этот уровень не изменяется, то это лучше, чем случай, когда эксплуатация машины начинается со значения уровня ЧР в изоляции более низким, но в процессе уровень ЧР в изоляции растёт.

Существуют два случая измерения ЧР в обмотке статора:

- Частичный разряд в секции паза. Это разряды между фазой и землёй, который со временем могут «съесть» изоляцию в пазу.
- Частичный разряд в лобовой части обмотки. Обычно проявляется ближе к концу обмоток в пазу, и хотя это далеко не самое обычное для ЧР, вне сомнения, это единственное место, откуда могут происходить ЧР в лобовой части обмоток.

Следует понимать, что «Система изоляции электрических машин» состоит из электроизоляционных материалов (ЭИМ) и технологии её создания. Какие же должны быть эти материалы?

Стеклослодоленты - необходимы для создания корпусной изоляции катушек магнитной системы, должны иметь: 1). максимально возможный уровень теплопроводности ( $\lambda > 0,45$  Вт/м<sup>0</sup>к) 2). минимальный уровень тока утечки в режиме экстремальных температур разогрева электрических машин. ( $> 180^{\circ}\text{C}$ ), ( $\text{tg}\delta$  при  $T=180^{\circ}\text{C}$  должен быть не более 30%)

Гибкий слюдениты - необходимы для изоляции пазов и межфазной изоляции лобовых частей катушек. Требования те же, что и для стеклослодолент, а именно:

1. Теплопроводность не менее  $\lambda > 0,45$  Вт/м<sup>0</sup>к
2. Диэлектрические потери при  $T=180^{\circ}\text{C}$  — не более  $\text{tg}\delta < 30\%$

Пропиточный состав — необходим для создания монолитной системы изоляции, обеспечивающей достаточный уровень цементации катушек в пазах, позволяющей выдерживать экстремальные вибрации в процессе эксплуатации электрических машин. Кроме того, отверждённый полимер, при нормальных условиях не должен быть сверхнапряжённым, т. е. уровень цементации полимера должен быть в пределах:

- при нормальной температуре — не более 350Н
- при температуре  $180^{\circ}\text{C}$  - не менее 50Н.

При этом.  $\text{tg}\delta$  при  $T=180^{\circ}\text{C} < 30\%$

Учитывая, что монолитность системы изоляции машин обеспечивается именно полимерным пропиточным составом, необходимо чтобы уровень температур начала деструкции полимера был однозначно выше температур определённого класса нагревостойкости системы изоляции электрических машин.