

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБМОТОК НА ДЕФЕКТНОСТЬ ВИТКОВОЙ  
ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Ю. П. ПОХОЛКОВ, П. П. БЕСПЕРСТОВ, В. В. ПЫХТИН

(Представлена научным семинаром кафедры электроизоляционной  
и кабельной техники)

Рост потребности народного хозяйства в асинхронных двигателях общепромышленного назначения ставит неотложную задачу увеличения их выпуска. Оптимальным путем решения этой проблемы является автоматизация и механизация технологических процессов изготовления двигателя. Одной из самых трудоемких операций при изготовлении асинхронных двигателей является укладка обмотки в пазы статора. В настоящее время на ряде электромашиностроительных заводов для механизации этой операции используются полуавтоматические намоточные станки. Применение данных станков, с одной стороны, приводит к резкому увеличению производительности труда, а с другой — к ухудшению качества витковой изоляции после укладки обмотки.

Исследования Л. М. Бернштейна [1], показали, что при изготовлении секций и катушек вытяжка провода марки ПЭТВØ1,62 мм может достигать 6—8%, это приводит к увеличению количества поверхностных трещин на одном сантиметре длины с 25 до 47 штук.

Анализ отказов электрических машин в эксплуатации показывает, что значительная часть их происходит в период приработки, в основном из-за наличия скрытых дефектов в изоляции. Наибольший процент отказов машин в период приработки приходится на витковую изоляцию и составляет 7—10% [2, 3].

Отказ изоляции может произойти только при наличии в ней сквозного повреждения. Следовательно, за критерий качества изоляции целесообразно использовать ее дефектность [4].

В данной работе сделана попытка оценить влияние колебаний технологического режима работы намоточного станка WST-660 фирмы «Elektromat» ГДР на дефектность витковой изоляции.

Для решения поставленной задачи необходимо разработать математическую модель дефектообразования в витковой изоляции при изготовлении обмоток, учитывающую качество изоляции в состоянии поставки и уровни технологических режимов работы намоточных станков. Разработку моделей обычно ведут путем постановки классического или факторного эксперимента. При классическом подходе количество экспериментов может оказаться недопустимо большим, а результаты представлены в труднообозримой форме. Повышение эффективности исследования достигается использованием математических методов статистического факторного планирования эксперимента [5].

По априорным сведениям основными факторами, оказывающими существенное влияние на дефектообразование в витковой изоляции при

укладке обмотки на намоточном станке являются усилие натяжения провода ( $P$ ) и скорость намотки ( $V$ ). Для этих факторов был спланирован эксперимент по центральному, композиционному рототабельному плану второго порядка (табл. 1).

Таблица 1

$\frac{V}{\text{дв/ход}}$ мин	$P$ кг	Параметр отклика $q_{in}$					
		$q_{1n}$ экс	$q_{1n}$ расч	$q_{2n}$ экс	$q_{2n}$ расч	$q_{3n}$ экс	$q_{3n}$ расч
+1	+1	0,8	0,778	0,84	0,81	0,87	0,85
+1	-1	0,74	0,805	0,78	0,84	0,83	0,854
-1	+1	0,78	0,739	0,82	0,81	0,85	0,848
-1	-1	0,61	0,655	0,63	0,65	0,68	0,723
1,414	0	0,74	0,72	0,8	0,798	0,85	0,804
-1,414	0	0,58	0,588	0,64	0,657	0,71	0,71
0	1,414	0,8	0,855	0,8	0,859	0,84	0,923
0	-1,414	0,85	0,814	0,81	0,79	0,86	0,837
0	0	0,72	0,755	0,74	0,775	0,81	0,841
0	0	0,77	0,755	0,79	0,775	0,84	0,841
0	0	0,75	0,755	0,77	0,775	0,86	0,841
0	0	0,77	0,755	0,79	0,775	0,86	0,841

За нулевые уровни факторов были приняты номинальные режимы работы намоточного станка, существующие на заводе «Сибэлектромотор» при укладке обмотки в пазы пакета статора двигателя АО2-32-2 проводом марки ПЭТВØ0,96. Уровни факторов и интервалы их варьирования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Факторы	Интервал варьирования	Кодовое обозначение	Уровни факторов				
			-1,414	-1	0	+1	+1,414
$V, \frac{\text{дв/ход}}{\text{мин}}$	28	$X_1$	40	52	80	108	120
$P, \text{кгс}$	0,7	$X_2$	3	3,3	4	4,7	5

После укладки обмотка осторожно извлекалась из пазов статора с целью предотвращения нанесения дополнительных дефектов. Затем обмотка разрезалась на образцы длиной 125 мм, которые испытывались на пробой в электродах «провод — дробь», причем диаметр дроби равнялся диаметру провода. При реализации одной строки плана испытывалось 200 образцов. По величине пробивного напряжения определялось значение дефектности изоляции провода [4], уложенного в пазы статора при различных режимах работы намоточного станка в соответствии с планом. Для оценки влияния качества поступающего на завод провода на дефектообразование при изготовлении обмотки были отобраны провода из трех различных партий, характеризующихся различными уровнями дефектности изоляции провода:

$$q_{1n}=0,08; q_{2n}=0,15; q_{3n}=0,27.$$

В результате проведения эксперимента и обработки данных [5] были получены уравнения в кодовых единицах, связывающие дефектность

витковой изоляции после укладки обмотки со скоростью намотки и уси-  
 лием натяжения провода.

Для  $q_{1п} = 0,08$

$$q_{1н} = 0,755 + 0,0473 X_1 + 0,02 X_2 - 0,0484 X_1^2 + 0,0324 X_2^2 - 0,0275 X_1 X_2. \quad (1)$$

Для  $q_{2п} = 0,15$

$$q_{2н} = 0,775 + 0,05 X_1 + 0,03 X_2 - 0,0239 X_1^2 + 0,0293 X_2^2 - 0,05 X_1 X_2. \quad (2)$$

Для  $q_{3п} = 0,27$

$$q_{3н} = 0,841 + 0,0335 X_1 + 0,0302 X_2 - 0,042 X_1^2 + 0,0297 X_2^2 - 0,0325 X_1 X_2. \quad (3)$$

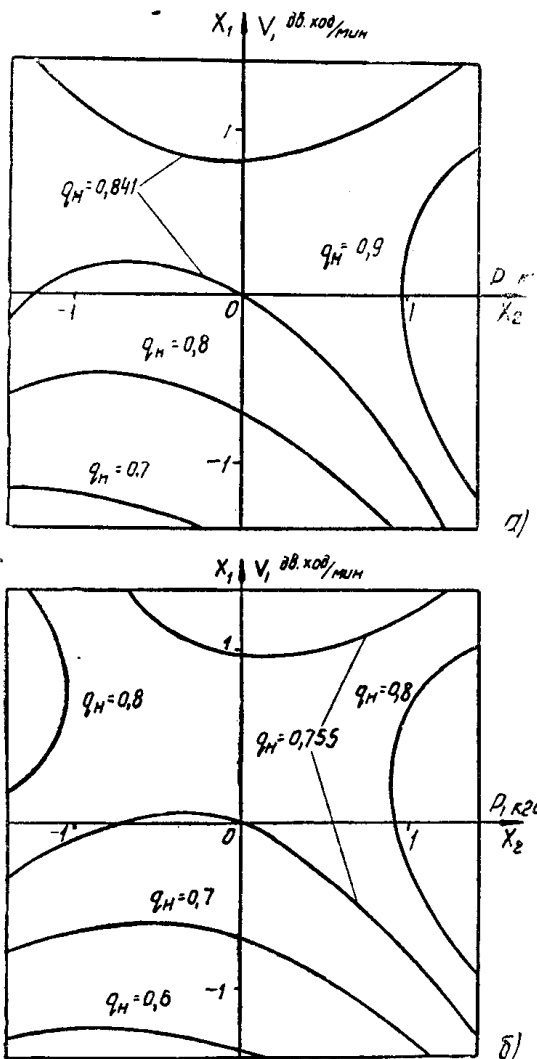


Рис. 1. Линии равного уровня дефектности  
 витковой изоляции: а)  $q_{п} = 0,27$ ;  
 б)  $q_{п} = 0,08$

Проверка адекватности по F-критерию Фишера при 5% уровне значимости показала, что полученные уравнения адекватно описывают результаты опытов. Значения дефектностей, полученные по результатам расчетов и экспериментов, приведены в табл. 1.

После описания соответствующих коэффициентов функциями от дефектности провода в состоянии поставки [7] и замены кодовых величин натуральными [6] получим обобщенную модель дефектообразования в витковой изоляции при изготовлении обмотки на станке WST-660:

$$q_{н} = 4,54 \cdot 10^{-5} \cdot q_{п}^{-3,24} \cdot e^{19,63 q_{п}} + 0,0168 V - 1,54 \cdot 10^{-4} \cdot q_{п}^{-2,64} \cdot e^{15,3 q_{п}} \cdot P - 4,98 \cdot 10^{-10} \cdot q_{п}^{-3,88} \cdot e^{24,2 q_{п}} \cdot V^2 + 0,0621 \cdot P^2 - 15,75 \cdot q_{п}^{3,1} \cdot e^{-18,8 q_{п}} \cdot V \cdot P. \quad (4)$$

Уравнения (1—4) показывают, что режимы работы намоточного станка оказывают существенное влияние на качество изоляции обмотки. Использование обобщенного уравнения позволяет обоснованно подойти к установлению оптимальных режимов работы намоточных станков.

Регулированием режимов работы можно добиться как увеличения производительности технологического оборудования, так и улучшения качества изоляции обмотки.

На рис. 1 приведены линии равного уровня дефектности витковой изоляции после укладки обмотки при различных дефектностях изоляции провода в состоянии поставки. Анализ зависимостей показывает, что существующие на заводе режимы работы намоточного станка являются оптимальными. Качество витковой изоляции обмотки нельзя существенно повысить без уменьшения производительности оборудования. Однако без снижения качества витковой изоляции обмотки можно повысить скорость намотки с 80 *дв. ход/мин* до 134 *дв. ход/мин* и снизить усилие натяжения провода с 4 кг до 3,5 кг.

Уменьшения дефектности витковой изоляции обмотки можно добиться снижением скорости намотки. Например, дефектность витковой изоляции обмотки (при дефектности изоляции провода  $q_n = 0,08$ ) можно снизить до 0,6 против 0,755, которая существует при заводских режимах работы намоточного станка. Для этого нужно снизить скорость намотки с 80 *дв. ход/мин* до 46 *дв. ход/мин* и уменьшить усилие натяжения с 4 кг до 3,5 кг.

Полученные результаты работы позволяют сделать следующие выводы:

1. Отклонение режимов работы намоточных станков в исследуемом диапазоне оказывает существенное влияние на качество витковой изоляции обмоток асинхронных двигателей.

2. Получена математическая модель дефектообразования в витковой изоляции асинхронных двигателей при изготовлении обмоток, которая учитывает качество изоляции поступающего провода и режимы работы намоточного станка.

3. Разработанная модель позволяет найти оптимальные режимы работы технологического оборудования для увеличения его производительности и для улучшения качества витковой изоляции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. М. Бернштейн. Изоляция электрических машин общепромышленного применения. М., «Энергия», 1971.
2. Э. К. Стрельбицкий, О. П. Муравлев, Ю. П. Похолков. Влияние обмоточно-изолирующих работ на пробивное напряжение витковой и корпусной изоляции асинхронных двигателей. «Электромеханика», 1966, № 1.
3. Э. К. Стрельбицкий, О. П. Муравлев, Ю. П. Похолков, А. С. Гитман. Исследование дефектности витковой и корпусной изоляции всыпных обмоток асинхронных электродвигателей. Известия ТПИ, т. 180. Томск, изд-во ТГУ, 1966.
4. Ю. П. Похолков. Надежность изоляции всыпных обмоток асинхронных двигателей. Известия ТПИ, т. 242, Томск, изд-во ТГУ, 1972.
5. В. В. Налимов, Н. А. Чернова. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М., «Наука», 1965.
6. Ю. П. Адлер. Введение в планирование эксперимента. М., «Металлургия», 1969.
7. Л. З. Румшиский. Математическая обработка результатов эксперимента. М., «Наука», 1971.