

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
СТЕРЖНЕЙ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ТВФ-100 С ИЗОЛЯЦИЕЙ
МОНОЛИТ-2**

Н. И. Школьников, С. М. Кабанова, Б. А. Иткин

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

Статорная обмотка турбогенератора является одним из главных элементов, определяющих его надежность. Среди многих факторов, влияющих на потенциальную надежность обмотки, наряду с типом применяемой изоляции, основным является толщина изоляции и ее фактический разброс, определяемый точностью технологического процесса. Кроме того, от точности изготовления стержней непосредственно зависит объем калибровки или доизоляции их, который в ряде случаев значителен и приводит к дополнительным затратам, ухудшая в то же время качество обмотки.

Кафедрой ОЭ НЭТИ совместно с СибНИЭТИ был проведен статистический анализ точности технологического процесса изготовления стержней турбогенератора ТВФ-100 с новой прогрессивной изоляцией Монолит-2.

Под статистическими методами анализа точности технологического процесса обычно понимают сопоставление «поле рассеивания» исследуемого признака качества на данной операции с заданным по чертежу допуском [1].

Задачей исследования было определить положение центра настройки и разбросы геометрических размеров стержней на различных операциях, а также выявить основные причины, определяющие их при данном технологическом процессе. Определение размеров стержня производилось штангенциркулем по ширине и высоте стержня по нескольким точкам на пазовой и лобовой частях его на следующих операциях: до корпусной изолировки, после изолировки до пропитки и после пропитки.

Исследование было проведено в два этапа. На первом этапе, который был выполнен сразу после откладки процесса изготовления стержней с изоляцией «Монолит-2», было замерено 29 стержней по 8 точкам на пазовой части каждого. Статистической обработкой были получены среднеарифметические (\bar{V}) и среднеквадратические (σ) значения размеров каждого стержня и параметры распределения размеров гипотетического стержня, соответствующего применяемой технологии. Анализ данных показал, что центр настройки технологического процесса несколько смещен от номинального размера ширины стержня, а получаемые в производстве разбросы размеров от чертежных значений определяются в основном разбросом, получаемым на операции опрессовки неизолированного стержня. Это приводило к значительному объему калибровки и доизоляции стержней.

Поэтому в первую очередь были заменены старые пресспланки, которые определяют размер ширины неизолированного стержня, и произведен ряд изменений в операциях изолировки. Проведенные последую-

щие измерения на восьми стержнях в 100 точках II этапа исследования геометрических размеров стержней показали значительное ухудшение точности технологического процесса.

В табл. 1 дается сравнение чертежных размеров с параметрами гипотетического стержня — ширины его пазовой части после операции опрессовки (\bar{V}_1 ; σ_1) и операции пропитки ($\bar{V}_{1п}$; $\sigma_{1п}$) соответственно по I и II этапам исследования. Там же приведены значения вероятности ка-

Таблица 1

	\bar{V}_1	σ_1	$\bar{V}_{1п}$	$\sigma_{1п}$	P_K	P_D
	мм	мм	мм	мм		
По чертежу	$15,8^{+0,3}$	—	$23,9^{-0,5}$	—		
I этап	16,03	0,31	23,7	0,381	0,30	0,10
II этап	15,81	0,178	23,6	0,248	0,111	0,052

либровки — P_K и вероятности доизоляции — P_D стержня при параметрах распределения, отвечающих первоначальному технологическому процессу и измененному по результатам статистического анализа.

Была принята следующая методика для определения P_K и P_D . Предварительные исследования показали, что плотность распределения $f(V_1)$ и $f(V_{1п})$ можно принять по нормальному закону. Тогда возможные значения изолированного стержня находятся в пределах

$$V_{1п \max} = \bar{V}_{1п} + 3\sigma_{1п}; \quad V_{1п \min} = \bar{V}_{1п} - 3\sigma_{1п}. \quad (1)$$

По технологии стержни с $V_{1п} \geq 23,9$ мм калибруются («проходной» размер калибра $V_N = 23,9$), а при $V_{1п} \leq 23,2$ мм доизолируются («непроходной» размер калибра $V_D = 23,2$).

И подсчет вероятности калибровки и доизоляции стержня производится по формулам

$$P_K = (V_K \leq V_{1п} \leq V_{1п \max}) = \Phi\left(\frac{V_{1п \max} - \bar{V}_{1п}}{\sigma_{1п}}\right) - \Phi\left(\frac{V_K - \bar{V}_{1п}}{\sigma_{1п}}\right) \quad (2)$$

$$P_D = (V_{1п \min} \leq V_{1п} \leq V_D) = \Phi\left(\frac{V_D - \bar{V}_{1п}}{\sigma_{1п}}\right) - \Phi\left(\frac{V_{1п \min} - \bar{V}_{1п}}{\sigma_{1п}}\right), \quad (3)$$

где Φ — функция Лапласа, значения которой могут быть взяты из приложения [2].

Представляет практический интерес определение действительного распределения толщины изоляции — $b_{1п}$ стержней. Непосредственное измерение $b_{1п}$ весьма затруднительно, кроме того, обычно связано с порчей стержня. Изоляция стержня представляет разность $V_{1п} - V_1$. Известно, что если две величины распределены по нормальному закону, то другая величина, представляющая их сумму (разность), также будет распределена по нормальному закону с математическим ожиданием, равным

$$\bar{b}_{1п} = \bar{V}_{1п} - \bar{V}_1, \quad (4)$$

и среднеквадратичным отклонением [3]

$$\sigma_{1п} = \sqrt{\sigma_{1п}^2 - \sigma_1^2} \quad (5)$$

или
$$\sigma_{1п}^2 = \sigma_{1п}^2 - \sigma_1^2 - 2\gamma\sigma_1\sigma_{1п}, \quad (6)$$

где γ — коэффициент корреляции между V_1 и $b_{1п}$.

Когда величины B_1 и b_{II} независимы, то применяется формула (5), если они коррелированы, то (6). Из физических соображений для исследуемого технологического процесса, особенно в случае механизированной изолировки стержней, можно считать, что имеется очень слабая положительная корреляционная зависимость между B_1 и b_{II} , и приближенно принять $\gamma=0$.

Определив из статистических данных по (4) и (5) параметры нормального закона, можно произвести расчет вероятности получения толщины в заданных пределах ($b_i \div b_{i+1}$). Без учета калибровки эта вероятность определяется

$$P_B(b_i \ll b \ll b_{i+1}) = \Phi\left(\frac{b_{i+1} - b_{II}}{\sigma_{II}}\right) - \Phi\left(\frac{b_i - b_{II}}{\sigma_{II}}\right). \quad (7)$$

Принимая, что отклонение в геометрических размерах по ширине стержня не должно превышать 0,5 мм [4], тогда для предела (7,5 ÷ 8,5) мм соответственно для I и II этапов исследования получаем по (7) $P_{BI} = 0,778$ и $P_{BII} = 0,953$.

Использование статистических методов для анализа точности технологического процесса изготовления стержней турбогенераторов позволило выявить основные причины, приводящие к отклонению размеров от чертежных. Устранение этих причин привело к значительному уменьшению разброса толщины изоляции, а объема калибровки в 2,8 раза.

Это свидетельствует об эффективности использования статистических методов в крупном электромашиностроении. Необходимо их дальнейшее внедрение для анализа технологических процессов не только изготовления обмоток, но и всего процесса производства крупных электрических машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. Изд-во «Наука», 1965.
2. Е. И. Пустыльник. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. Изд-во «Наука», 1968.
3. Е. С. Вентцель. Теория вероятностей. Физматгиз, 1962.
4. В. М. Быков, В. И. Савина и др. Основные положения расчета надежности стержневых обмоток электрических машин. «Методы анализа надежности электрических машин», изд-во «Наука», 1968.