

## К ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЛАКИРОВКИ АКТИВНОГО ЖЕЛЕЗА КРУПНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Б. А. ИТКИН, С. М. КАБАНОВА, А. А. ТАРАСЮК

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

Лакировка листов электротехнической стали является одним из основных характерных технологических процессов производства крупных электрических машин. Определенную актуальность имеет исследование ряда вопросов по нахождению оптимальных параметров процесса лакировки, ибо с этим связано как качество лаковой пленки (сопротивление ее изоляции, толщина и др.), так и производительность работы участка (скорость конвейера лак-машины и число лакировок). Хотя применяемая в настоящее время в электромашиностроении технология лакировки активного железа далеко не нова, нам неизвестен общепринятый метод нахождения оптимальных параметров ее. Такое положение, видимо, объясняется тем, что сами процессы лакировки довольно сложны, многостадийны, зависят от многих факторов, а методы исследования их имели эмпирико-интуитивный характер. Обычно на заводе работа по накладке процесса лакировки производилась путем перебора ряда значений основных параметров его и заканчивалась при получении неплохих, с точки зрения производства, данных, не имея возможности даже оценить, насколько они далеки от оптимальных. Применение методов активного планирования экспериментов намного расширяет возможности целенаправленного поиска оптимальных условий [1].

В данной статье отражены результаты первого этапа исследования, проведенного совместно заводом «Сибэлектротяжмаш» и кафедрой ОЭ НЭТИ, по оптимизации процесса лакировки с использованием планирования эксперимента по методу Бокса-Уилсона.

В качестве объекта исследования был взят процесс лакировки листов статора асинхронного двигателя типа АС 4000. При принятой на заводе технологии листы этой машины обычно проходили трехкратное покрытие лаком. Было решено определить сначала оптимальные параметры процесса первой лакировки. В качестве параметра оптимизации было взято электрическое сопротивление изоляции между листами. Измерения проводились на заводской установке над пакетами из 20 листов. В эксперименте учитывались следующие факторы:  $V$  — скорость конвейера лак-машины ( $м/мин$ );  $T_1$ ;  $T_2$ ;  $T_3$  — соответственно температуры первой, второй и третьей зон печи лак-машины ( $^{\circ}C$ ). На первой стадии работы проводился дробный факторный эксперимент с полурепликой типа  $2_{IV}^{4-1}$  [1]. Было проведено 8 опытов, но не удалось регулировать температуру 1-й зоны согласно принятой матрице планирования ввиду ограниченных технических возможностей данной печи. Значения факторов 5-го опыта, где было получено наибольшее значение выходной ве-

личины, приняли за основной уровень последующей полуреплики типа  $2^{3-1}$ .  $T_1$  было застabilизировано в пределах  $380 \div 390^\circ \text{C}$ . Матрица планирования, результаты опытов и расчет крутого восхождения приведены в табл. 1. Указанные расчеты были проведены согласно методике и формулам [1].

Таблица 1

	V м/мин	$T_2$ °C	$T_3$ °C	R(y) ом
Основной уровень	20	585	500	
Интервал варьирования	2	15	20	
Верхний уровень	22	600	520	
Нижний уровень	18	570	480	
Кодированные значения переменных				
Опыты	1	-1	+1	31,1
	2	+1	+1	23,9
	3	-1	+1	20,8
	4	+1	-1	7,7
Коэффициенты регрессии:				
$\sigma_0=20,9$	-5,22	1,65	6,6	
Составляющие градиента	-10,44	24,8	132	
Шаг при изменении на 1 ...	-1	2,35	12,66	
Округление	-1	3	10	
Опыты мысленные	5	19	588	27,2
	6	18	591	34,7
Опыт реализованный	7	18	590	38
Вторичная лакировка	8	18	590	80

Крутое восхождение оказалось весьма эффективным, седьмой опыт дал значение  $R=38$ , что в 3,1 раза больше сопротивления изоляции листов контрольной партии на этой же лак-машине ( $R_k=12,3$ ), полученного при параметрах обычно применяемой технологии. Вторичная лакировка листов с параметрами, аналогичными опыту 7, дала значение  $R_8 > 80$ , что значительно превышает минимально допустимое сопротивление изоляции для этих листов.

Таким образом, применение метода активного планирования эксперимента уже на первых этапах исследования процесса лакировки листов АС 4000 позволило перейти с трехкратного на двукратное покрытие лаком при одновременном улучшении выходного качества листов. В дальнейших исследованиях предполагается получить математическую модель и оптимизировать процесс лакировки как по  $R$ , так и по толщине лаковой пленки с учетом факторов: температуры зон, скорости, конвейера, вязкости лака и нажатия валков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. П. Адлер и др. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. «Наука», 1971.