

Оптимальное планирование экспериментальных исследований вихретоковых преобразователей

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»,
Полтавская государственная аграрная академия*

Синтезированы оптимальные по стоимостным затратам планы эксперимента для исследования вихретоковых преобразователей. Показана эффективность оптимального по стоимостным затратам планирования эксперимента. Наилучшие результаты получены при использовании метода итерационного планирования экспериментов.

Ключевые слова: план, эксперимент, модель, преобразователь, параметр, стоимость

Постановка проблемы. На современном уровне развития науки и техники приборные устройства должны удовлетворять требованиям точности, чувствительности, технологичности, иметь малые массогабаритные характеристики, низкое энергопотребление и стоимость. Поэтому необходимость улучшения этих показателей весьма актуальна.

Для улучшения технико-экономических показателей таких устройств необходимо решить следующие задачи:

- выполнить экспериментальные исследования, направленные на получение математических моделей преобразователя и рациональных конструктивных параметров;
- предложить и реализовать пути улучшения показателей качества разработанных приборных устройств.

При этом оправдано стремление экспериментаторов решить указанные задачи при минимальных стоимостных и временных затратах.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] с привлечением методов планирования эксперимента выполнено исследование вихретокового преобразователя, который используется как в качестве индивидуального средства контроля, так и в составе системы контроля толщины диэлектрических покрытий на металлических поверхностях.

Недостатком данного исследования является то, что не учитывается стоимость проведения экспериментов, выполненных по плану полного факторного эксперимента (ПФЭ).

Цель работы: синтезировать оптимальные по стоимостным затратам планы эксперимента для проведения данных исследований.

Основные результаты исследований. При исследовании вихретокового преобразователя в качестве критериев оптимизации были выбраны следующие технико-экономические показатели: δ – погрешность измерения, %; S – чувствительность, мВ/мм; P – энергопотребление, мВт; H_{\max} – максимальный предел измерения, мм; m – масса, г. [1]. Доминирующими факторами, влияющими на эти показатели, были выбраны: X_1 – диаметр сердечника, мм; X_2 – высота сердечника, мм; X_3 – количество витков; X_4 – частота питающего напряжения, Гц [1].

Исходный план ПФЭ, по которому выполнялось исследование вихретокового преобразователя, представлен в табл. 1.

Проведем оптимизацию исходного плана ПФЭ по критерию суммарной стоимости реализации эксперимента. Стоимости изменений значений уровней факторов из «-1» в «+1» и из «+1» в «-1» приведены в табл. 2, а стоимости изменений значений факторов из «0» в «+1» и из «0» в «-1» – в табл. 3.

С помощью пакета прикладных программ синтезированы оптимальные по стоимости проведения планы эксперимента, полученные в результате реализации следующих видов поиска: а) анализ перестановок (исследовано 7777777 вариантов); б) случайный поиск (проанализировано 593445 вариантов). Матрицы планирования представлены в табл. 4.

Таблица 1

Исходный план полного факторного эксперимента

№ п/п	X_1	X_2	X_3	X_4
1	-1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	-1
3	-1	+1	-1	-1
4	+1	+1	-1	-1
5	-1	-1	+1	-1
6	+1	-1	+1	-1
7	-1	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1	-1
9	-1	-1	-1	+1
10	+1	-1	-1	+1
11	-1	+1	-1	+1
12	+1	+1	-1	+1
13	-1	-1	+1	+1
14	+1	-1	+1	+1
15	-1	+1	+1	+1
16	+1	+1	+1	+1

Таблица 2

Стоимости изменений значений уровней факторов

Обозначения факторов	Стоимости	
	изменений из «-1» в «+1», грн	изменений из «+1» в «-1», грн
X_1	7,90	6,90
X_2	8,80	7,40
X_3	4,90	1,55
X_4	0,20	0,20

Таблица 3

Стоимости начальной установки уровней факторов

Обозначения факторов	Стоимости	
	изменений из «0» в «-1», грн	изменений из «0» в «+1», грн
X ₁	8,65	6,15
X ₂	9,55	6,65
X ₃	5,65	0,80
X ₄	0,20	0,20

Стоимость реализации эксперимента по плану, полученному путем перестановки строк матрицы, составляет 112,85 грн (вариант плана 6915453), в то время как стоимость исходного плана ПФЭ – 204,5 грн, а максимальная стоимость – 255,3 грн (вариант плана 4426066). Таким образом, выигрыш в стоимости реализации эксперимента составляет 1,81 по сравнению с исходным планом и 2,26 по сравнению с планом эксперимента максимальной стоимости.

Таблица 4

Оптимальные по стоимостным затратам планы эксперимента

Оптимальный план (анализ перестановок)					Оптимальный план (метод случайного поиска)				
№ п/п	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	№ п/п	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
8	+1	+1	+1	-1	6	+1	-1	+1	-1
7	-1	+1	+1	-1	4	+1	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1	-1	12	+1	+1	-1	+1
1	-1	-1	-1	-1	11	-1	+1	-1	+1
9	-1	-1	-1	+1	9	-1	-1	-1	+1
10	+1	-1	-1	+1	1	-1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	-1	2	+1	-1	-1	-1
4	+1	+1	-1	-1	10	+1	-1	-1	+1
11	-1	+1	-1	+1	5	-1	-1	+1	-1
12	+1	+1	-1	+1	13	-1	-1	+1	+1
13	-1	-1	+1	+1	15	-1	+1	+1	+1
14	+1	-1	+1	+1	7	-1	+1	+1	-1
6	+1	-1	+1	-1	3	-1	+1	-1	-1
5	-1	-1	+1	-1	8	+1	+1	+1	-1
15	-1	+1	+1	+1	14	+1	-1	+1	+1
16	+1	+1	+1	+1	16	+1	+1	+1	+1

Стоимость реализации эксперимента по плану, полученному методом случайного поиска, составляет 101,8 грн (вариант плана 4148), в то время как максимальная стоимость – 246,0 грн (вариант плана 587850). Таким образом, выигрыш в стоимости реализации эксперимента по исследованию вихретокового преобразователя составляет 2,01 по сравнению с исходным планом и 2,42 по сравнению с планом эксперимента максимальной стоимости.

При использовании метода итерационного планирования эксперимента [2] получен его исходный план при условии равноценности опытов, проведенных по матрице планирования (табл. 5). Причем адекватные математические модели [1] были получены на третьем шаге итерации: 1) план дробного факторного эксперимента (ДФЭ) с генерирующим соотношением $X_4 = X_1 X_2$; 2) достройка плана ДФЭ до плана Рехтшафнера; 3) достройка проведенных ранее опытов до плана ПФЭ.

Оптимальный по стоимости реализации план эксперимента, полученный с помощью пакета прикладных программ и с учетом стоимостей, приведенных в табл. 2 и 3, представлен в табл. 5. Стоимость реализации эксперимента по этому плану составляет 86,3 грн, в то время как стоимость исходного плана – 155,15 грн. Таким образом, получен выигрыш в стоимости реализации эксперимента по исследованию вихретокового преобразователя, который составляет 1,78 по сравнению с исходным планом.

Таблица 5

Исходный и оптимальный планы, полученные методом итерационного планирования экспериментов

Но- мер шага	Исходный план					Оптимальный план (анализ перестановок)				
	№ п/п	X_1	X_2	X_3	X_4	№ п/п	X_1	X_2	X_3	X_4
1	1	+1	-1	-1	-1	4	+1	+1	+1	+1
	2	-1	+1	-1	-1	5	+1	+1	-1	+1
	3	-1	-1	-1	+1	2	-1	+1	-1	-1
	4	+1	+1	+1	+1	8	-1	+1	+1	-1
	5	+1	+1	-1	+1	7	-1	-1	+1	+1
	6	+1	-1	+1	-1	3	-1	-1	-1	+1
	7	-1	-1	+1	+1	1	+1	-1	-1	-1
	8	-1	+1	+1	-1	6	+1	-1	+1	-1
2	9	+1	+1	-1	-1	11	+1	-1	+1	+1
	10	+1	-1	-1	+1	10	+1	-1	-1	+1
	11	+1	-1	+1	+1	9	+1	+1	-1	-1
	12	+1	+1	+1	-1	12	+1	+1	+1	-1
	13	-1	+1	-1	+1	14	-1	+1	+1	+1
	14	-1	+1	+1	+1	13	-1	+1	-1	+1
	15	-1	-1	-1	-1	15	-1	-1	-1	-1
3	16	-1	-1	+1	-1	16	-1	-1	+1	-1

Выводы

На примере исследования вихретокового преобразователя для измерения толщины покрытий показана эффективность оптимального по стоимостным затратам планирования эксперимента. Причем наилучшие результаты получены при использовании метода итерационного планирования экспериментов.

Список литературы

1. Оптимизация вихретоковых преобразователей / Н.Д. Кошевой, М.В. Цеховской, В.А. Дергачев, А.Н. Кухар // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». – 2006. – Вып. 33. – С.66–69.

2. Кошевой Н.Д. Автоматизация экспериментальных исследований: моногр. / Н.Д. Кошевой, В.А. Гаевой. – Х.: Факт, 2001. – 112 с.

Рецензент: д.т.н., проф., зав. каф. А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

Поступила в редакцию 28.05.09

Оптимальне планування експериментальних досліджень вихрострумів перетворювачів

Синтезовано оптимальні за вартісними витратами плани експерименту для дослідження вихрострумів перетворювачів. Показано ефективність оптимального за вартісними витратами планування експерименту. Найкращі результати отримані при використанні методу ітераційного планування експериментів.

Ключові слова: план, експеримент, модель, перетворювач, параметр, вартість

Optimal planning the experimental investigation of vortexcurrent converters

The Synthesized optimum plans on cost of the experiment for study vortexcurrent converters. Efficiency optimum expenses is shown on cost of the planning the experiment. The best results are received when use the method consequent planning an experiment.

Keywords: plan, experiment, model, converter, parameter, cost