

УДК 551.508.7

М.Д. КОШОВИЙ<sup>1</sup>, О.В. ЗАБОЛОТНИЙ<sup>1</sup>, О.М. КОСТЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна

<sup>2</sup>Полтавська державна аграрна академія, Україна

### ОПТИМАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ПЕРЕНОСНИХ ДІЕЛЬКОМЕТРИЧНИХ ВОЛОГОМІРІВ

*Розроблено переносний пристрій для вимірювання вологості нафтопродуктів «Аqua-1» у діапазоні від 0 до 30% за об'ємом, який складається з електронного блока та вимірювального перетворювача. Показана ефективність оптимального по вартісним затратам планування експерименту на прикладі дослідження вологомірів нафтопродуктів. При зміні вартості початкової установки рівнів факторів отримали такий же оптимальний план, а змінилась тільки вартість його реалізації. Синтезована математична модель, що дозволяє проводити калібрування вологомірів в'язких нафтопродуктів для вказаних авторами абсолютної похибки та діапазону вимірювання вологості.*

**Ключеві слова:** ефективність, планування експерименту, оптимальний, вартість, вологомір, нафтопродукти

#### Вступ

**Постановка проблеми.** Співробітниками кафедри авіаційних приладів та вимірювань Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» розроблено переносний пристрій для вимірювання вологості нафтопродуктів «Аqua-1» у діапазоні від 0 до 30% за об'ємом, який складається з електронного блока та вимірювального перетворювача, розташованого в контейнері місткістю 2,5 л [1]. При калібруванні вологомірів виникає завдання знаходження аналітичної залежності діелектричної проникності  $\epsilon$  двофазної емульсії (вода в нафтопродукті) від діелектричної проникності  $\epsilon_n$  зневодненого нафтопродукту та вмісту повної кількості води  $W$ . Це дозволить усунути необхідність використання великої кількості проб із різним вмістом вологи та спростити сам процес повірки. Для синтезу такої залежності доцільно застосувати теорію планування експерименту, а дослідження проводити по оптимальним за вартістю планам експерименту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [2] з застосуванням теорії планування експерименту отримано залежність  $\epsilon = f(\epsilon_n, W)$  у вигляді неповного квадратичного полінома. Недоліком даного дослідження є те, що не враховувалась вартість проведення експериментів, які виконувались за планом повного факторного експерименту (ПФЕ).

**Мета статті** – синтезувати оптимальні за вартісними затратами плани експерименту для проведення даних досліджень.

#### Основні результати досліджень

Для синтезу залежності  $\epsilon = f(\epsilon_n, W)$ , яка б дозволила з достатнім рівнем точності проводити калібрування переносних діелектричних вологомірів лише з використанням зневодненого палива, тобто без виготовлення проб із різним вмістом вологи, домінуючими факторами були вибрані:  $x_1$  – відносна діелектрична проникність  $\epsilon_n$  зневодненого нафтопродукту;  $x_2$  – вміст води  $W$  у відсотках. Вихідним показником являлась відносна діелектрична проникність  $\epsilon$  внутрішньої фази.

Початковий план ПФЕ, за яким виконувалося дослідження, приведено в табл. 1.

Таблиця 1

Початковий і оптимальний плани експерименту

Начальний план			Оптимальний план		
№ п/п	$X_1$	$X_2$	№ п/п	$X_1$	$X_2$
1	-1	-1	2	+1	-1
2	+1	-1	1	-1	-1
3	-1	+1	3	-1	+1
4	+1	+1	4	+1	+1

Проведемо оптимізацію начального плану ПФЕ за критерієм сумарної вартості реалізації експерименту. Вартості зміни значень рівнів факторів із «-1» в «+1» та із «+1» в «-1» наведені в табл. 2, а вартості зміни значень факторів із «0» в «+1» та із «0» в «-1» наведені в табл. 3.

Таблиця 2

Вартості зміни значень рівнів факторів

Позначення факторів	Вартості зміни значень рівнів	
	із «-1» в «+1», грн	із «+1» в «-1», грн
X <sub>1</sub> (ε <sub>n</sub> )	10	10
X <sub>2</sub> (W)	20	60

Таблиця 3

Вартості початкової установки рівнів факторів

Позначення факторів	Вартості початкової установки рівнів	
	із «0» в «+1», грн	із «0» в «-1», грн
X <sub>1</sub> (ε <sub>n</sub> )	10	10
X <sub>2</sub> (W)	60	20

За допомогою пакета прикладних програм синтезовано оптимальний за вартістю проведення план експерименту, отриманий в результаті реалізації перестановок рядків початкової матриці планування (проаналізовано 24 варіанта). Матриця оптимального плану наведена в табл. 1

Вартість реалізації експерименту за оптимальним планом становить 70 грн (варіант плану 2). При цьому вартість початкового плану ПФЕ 80 грн, а максимальна вартість дорівнює 230 грн (варіант плану 15).

Таким чином, маємо вигоду у вартості реалізації експерименту в 1,14 раза у порівнянні з початковим планом і в 3,3 раза у порівнянні з максимальною вартістю.

При зміні вартості початкової установки рівнів факторів (табл. 4) отримали такий же оптимальний план (варіант плану 2) (див. табл. 1), але його вартість становить 110 грн. При цьому вартість початкового плану ПФЕ 120 грн, а максимальна вартість дорівнює 190 грн (варіант плану 17).

Таблиця 4

Вартості початкової установки рівнів факторів

Позначення факторів	Вартості початкової установки рівнів	
	із «0» в «+1», грн	із «0» в «-1», грн
X <sub>1</sub> (ε <sub>n</sub> )	10	10
X <sub>2</sub> (W)	20	60

Таким чином, маємо вигоду у вартості реалізації експерименту в 1,1 раза у порівнянні з початковим планом і в 1,7 раза у порівнянні з максимальною вартістю.

Значення рівнів обраних факторів та інтервали варіювання на дано в табл. 5.

Таблиця 5

Рівні факторів та інтервали варіювання

Фактори	Рівні факторів			Інтервали варіювання	Розмірність
	-1	0	+1		
X <sub>1</sub> (ε <sub>n</sub> )	1,6	2,8	4,0	1,2	-
X <sub>2</sub> (W)	0	15	30	15	%

Нижній та верхній рівні фактора W обиралися згідно з діапазоном вимірювання вологості приладу «Aqua-1» (від 0 до 30%). Значення нижнього та верхнього рівнів фактора ε<sub>n</sub> встановлювалися шляхом визначення діелектричних проникностей відповідно до мазуту марки «Паливний-100» та попередньо зневодненого важкого нафтопродукту зі значним вмістом сірки, парафінів та асфальтових смол. Діелектрична проникність ε<sub>n</sub> в обох випадках визначалася шляхом відношення ємності вимірювального перетворювача, заповненого нафтопродуктом, до ємності порожнього вимірювального перетворювача (заповненого повітрям).

Результати вимірювань для двофакторного експерименту наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Матриця планування експерименту та результати вимірювань

№ з/п	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>
1	+	-	4,012	3,977	4,023	3,990	3,969
2	-	-	1,600	1,585	1,586	1,556	1,579
3	-	+	2,917	2,932	2,895	2,917	2,910
4	+	+	7,833	7,844	7,820	7,787	7,800

№ з/п	Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>	Y <sub>8</sub>	Y <sub>9</sub>	Y <sub>10</sub>	$\bar{Y}$
1	4,012	4,001	4,023	3,980	4,012	3,999
2	1,594	1,602	1,571	1,579	1,586	1,584
3	2,895	2,917	2,902	2,902	2,887	2,907
4	7,864	7,800	7,825	7,843	7,832	7,823

Під час обробки результатів експерименту було отримано лінійну модель, що характеризує залежність діелектричної проникності двофазної емульсії від діелектричної проникності зневодненого нафтопродукту та вмісту води в цій емульсії:

$$y = 4,079 + 1,833x_1 + 1,287x_2.$$

Така залежність виявилася неадекватною, тому було прийнято рішення застосувати замість лінійно-

го рівняння неповний квадратичний поліном шляхом введення ефекту взаємодії між факторами:

$$y = 4,079 + 1,833x_1 + 1,287x_2 + 0,625x_1x_2. \quad (1)$$

Вираз (1) у натуральних значеннях факторів матиме наступний вигляд:

$$\varepsilon = -0,015 + 0,998\varepsilon_H - 0,012W + 0,035\varepsilon_H W. \quad (2)$$

### Висновок

1. На прикладі дослідження переносних діелектричних вологомірів показана ефективність оптимального за вартісними затратами планування експерименту.

2. Математична залежність (2), синтезована авторами із застосуванням теорії планування експери-

менту, дозволить для указаних авторами абсолютної похибки та діапазону вимірювання проводити калібрування вологомірів в'язких нафтопродуктів, у яких не спостерігається флокулярних процесів, без особливих зусиль, лише визначивши діелектричну проникність  $\varepsilon_H$  нафтопродукту, що підлягає дослідженню.

### Література

1. Пат. 53186 Україна. Ємнісний вимірювач вологості матеріалів / О.В. Заболотний, В.А. Заболотний, М.Д. Кошовий. – Опубл. 2003, Бюл. №1.

2. Заболотний О.В. Особливості метрологічного забезпечення переносних діелектричних вологомірів / О.В. Заболотний, М.Д. Кошовий // Український метрологічний журнал. – 2004. – №1. – С.48-51.

Надійшла до редакції 2.09.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри 304 О.Ю. Соколов, Національний аерокосмічний університет ім. М.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна.

### ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПЕРЕНОСНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЛАГОМЕРОВ

*Н.Д. Кошевой, А.В. Заболотный, Е.М. Костенко*

Разработано переносное устройство для измерения влажности нефтепродуктов «Aqua-1» в диапазоне от 0 до 30% по объему, которое состоит из электронного блока и измерительного преобразователя. Показана эффективность оптимального по стоимостным затратам планирования эксперимента на примере исследования влагомеров нефтепродуктов. При изменении стоимости начальной установки уровней факторов получили такой же оптимальный план, а изменилась только стоимость его реализации. Синтезирована математическая модель, которая позволяет проводить калибровку влагомеров вязких нефтепродуктов для указанных авторами абсолютной погрешности и диапазона измерения влажности.

**Ключевые слова:** эффективность, планирование эксперимента, оптимальный, стоимость, влагомер, нефтепродукты.

### OPTIMUM PLANNING OF THE EXPERIMENTS FOR THE STUDY THE PORTABLE CAPACITANCE HYDROMETERS

*N.D. Koshevoy, A.V. Zabolotny, O.M. Kostenko*

Portable device «Aqua-1» for measuring moisture of oil products within the range from 0 to 30% of volume was developed, which consists of electronic block and measuring converter. Efficiency of optimum experiment planning by price expenses was shown by example of the study the hydrometers of oil products. When the cost of the initial installation of factors' levels was changed, the same optimum plan was got, but only the cost of its realization changed. The article describes the process of the synthesis of mathematical model, this model allows to carrying out the process of calibration of hydrometers of viscous oil products for an absolute error and range of measurements, given by the authors.

**Key words:** efficiency, planning of experiment, optimum, price, hydrometer, oil products.

**Кошовий Микола Дмитрович** – д-р техн. наук, професор, зав. каф. 303, Національний аерокосмічний університет ім. М.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: kafedraapi@ Rambler.ru

**Заболотний Олександр Віталійович** – к.т.н., доцент каф. 303, Національний аерокосмічний університет ім. М.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: kafedraapi@ Rambler.ru

**Костенко Олена Михайлівна** – к.т.н., доцент, проректор з навчально-педагогічної та інноваційної роботи, Полтавська державна аграрна академія, Полтава, Україна, e-mail: kostenko@pdaa.com.ua