

4. Кашаев, Р.С. Экспресс-анализ концентрации парафина и температуры застывания топлива методом ЯМР. / Р.С. Кашаев, Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 8. – С. 31–35.

5. Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Топливо дизельное. Технические условия: СТБ 1658-2015. – Введ. 01.03.2016. – Минск: Госстандарт, 2016. – 30 с.

6. Васильев, В.П. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа / В.П. Васильев. – М.: Дрофа, 2005. – 383 с.

7. Бензины автомобильные и авиационные. Метод определения интенсивности окраски: ГОСТ 20924-75. – Введ.01.01.1976. – М.: Издательство Стандартов, 1995. – 5 с.

УДК 665.5.06+674.87

А. А. Рогач, асп.,
С. А. Ламоткин, зав. кафедрой, канд. хим. наук, доц.
(БГТУ, г. Минск)

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭКСТРАКЦИИ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ РОДА *PICEA*

Методы анализа статистических совокупностей служат для исследования информации, когда изменение анализируемого параметра носит случайный характер. Основными методами являются: регрессивный, дисперсионный и факторный виды анализа, метод сравнения средних, метод сравнения дисперсий и др. Эти методы позволяют установить зависимость изучаемых явлений от случайных факторов как качественную (дисперсионный анализ), так и количественную (корреляционный анализ); исследовать связи между случайными и неслучайными величинами (регрессивный анализ); выявить роль отдельных факторов в изменении анализируемого параметра (факторный анализ) [1].

Вариационное исчисление – это раздел функционального анализа, в котором изучаются вариации функционалов. Самая типичная задача вариационного исчисления состоит в том, чтобы найти функцию, на которой функционал достигает экстремального значения [2].

Задачей эксперимента является нахождение оптимальных условий экстрагирования, для получения максимального выхода экстрактивных веществ.

Для решения этой задачи был составлен и реализован в лабораторных условиях двухфакторный эксперимент с использованием матрицы планирования Коно, включающей вершины квадрата, середины

ребер и точку в центре области планирования. В качестве управляющих независимых переменных были выбраны следующие факторы:

- соотношение сырья и экстрагента, (X_1);
- время экстрагирования, ч (X_2);
- температуру экстрагирования, °С (X_3).

В качестве критерия оптимизации выбран выход экстрактивных веществ (массовая доля от сырой массы сырья, %).

При проведении исследований использовали план второго порядка Коно, в котором один из подходов – варьирование факторов на трех уровнях (таблица 1). При нахождении критерия оптимизации выполняли 3 параллельные определения ($Y_{u1} - Y_{u3}$) (таблица 2).

Таблица 1 – Характеристика плана второго порядка Коно

Характеристика плана	Факторы		
	Соотношение сырья и экстрагента	Время, ч	Температура экстрагирования, °С
Основной уровень (0)	1:5	8	60
Шаг	1:5	2	15
Верхний уровень (1)	1:10	10	75
Нижний уровень (-1)	1:1	6	45

Таблица 2 – Матрица плана эксперимента

№	X_1	X_2	X_3	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}
1	-1	-1	-1	7,24	7,35	7,31
2	0	-1	-1	8,41	8,44	8,36
3	1	-1	-1	8,64	8,72	8,74
4	-1	0	-1	8,36	8,26	8,29
5	1	0	-1	9,48	9,52	9,2
6	-1	1	-1	9,54	9,38	9,59
7	0	1	-1	10,21	10,08	10,01
8	1	1	-1	9,98	9,7	10,02
9	-1	-1	0	8,82	8,73	8,86
10	1	-1	0	9,52	9,1	9,29
11	0	0	0	10,56	10,43	10,52
12	-1	1	0	9,72	9,83	9,86
13	1	1	0	9,43	9,8	9,58
14	-1	-1	1	7,88	7,86	7,65
15	0	-1	1	8,25	8,39	8,27
16	1	-1	1	9,25	8,9	9,15
17	-1	0	1	9,65	9,53	9,61
18	1	0	1	10,12	10,31	10,18
19	-1	1	1	9,87	9,98	9,85
20	0	1	1	10,65	10,8	10,64
21	1	1	1	11,25	11,35	11,31

Экспериментальные данные были обработаны с использованием

прикладной программы Excel с целью нахождения коэффициентов уравнений регрессии $Y_i = f(X_1, X_2)$ при фиксированном значении параметра X_3 . Полученное адекватное уравнение описывают зависимости выход экстрактивных веществ от соотношения сырья и экстрагента и времени экстрагирования (1).

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1X_2 + b_5X_1X_3 + b_6X_2X_3 + b_7X_1^2 + b_8X_2^2 + b_9X_3^2 \quad (1)$$

где, $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9$ – рассчитанные коэффициенты уравнения;

- X_1 – соотношение сырья и экстрагента;
- X_2 – время экстрагирования, ч;
- X_3 – температура экстрагирования, °С;
- Y – выход экстрактивных веществ, %.

На основании полученных математических зависимостей построены поверхности отклика уравнений для показателей Y (рисунки 1–3).

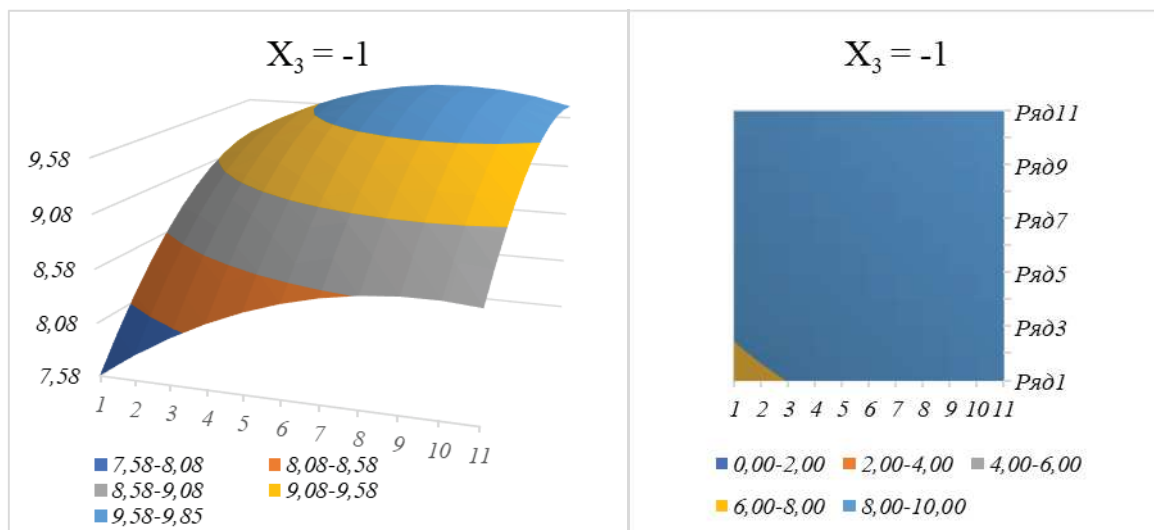


Рисунок 1 – Трехмерная диаграмма зависимости $Y = f(X_1, X_2)$ при $X_3 = -1$ и двумерное сечение поверхности отклика

На основании проведенных расчетов можно сделать следующие выводы.

Максимальное значение критерия оптимизации 10,742 %, соответственно оптимальное сочетание факторов: соотношение сырья и экстрагента 1:5; время экстракции 10 ч; температура экстракции 75°С.

Для оценки однородности дисперсии используется критерий Кохрена. Табличное значение критерия Кохрена составляет 0,2705 (уровень значимости 0,05), практически рассчитанное значение – 0,164. Так как $G_{\text{экс}} < G_{\text{табл}}$, то дисперсия является однородной.

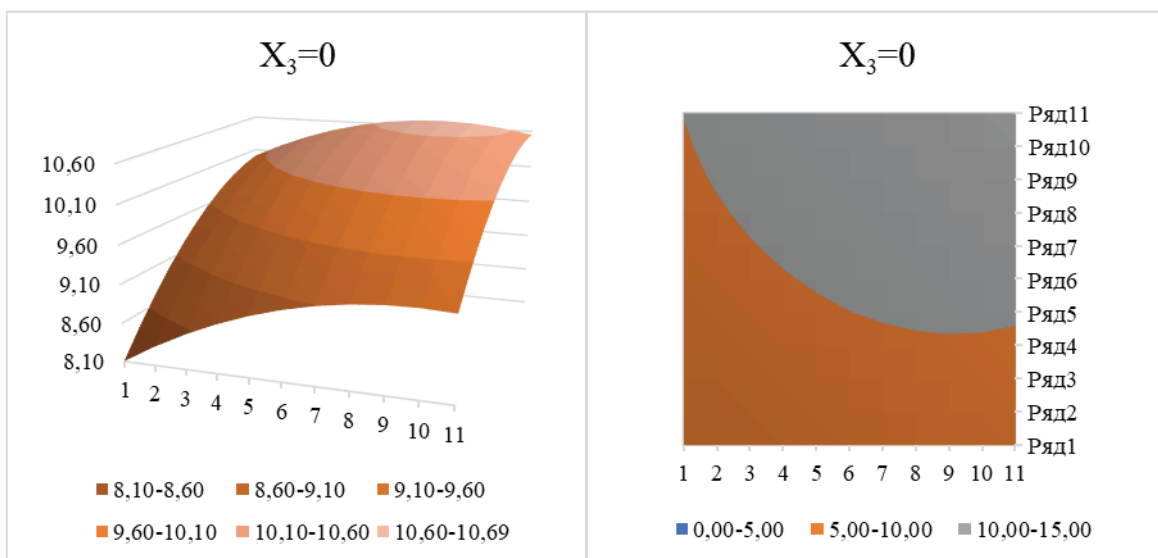


Рисунок 2 – Трехмерная диаграмма зависимости $Y = f(X_1, X_2)$ при $X_3=0$ и двумерное сечение поверхности отклика

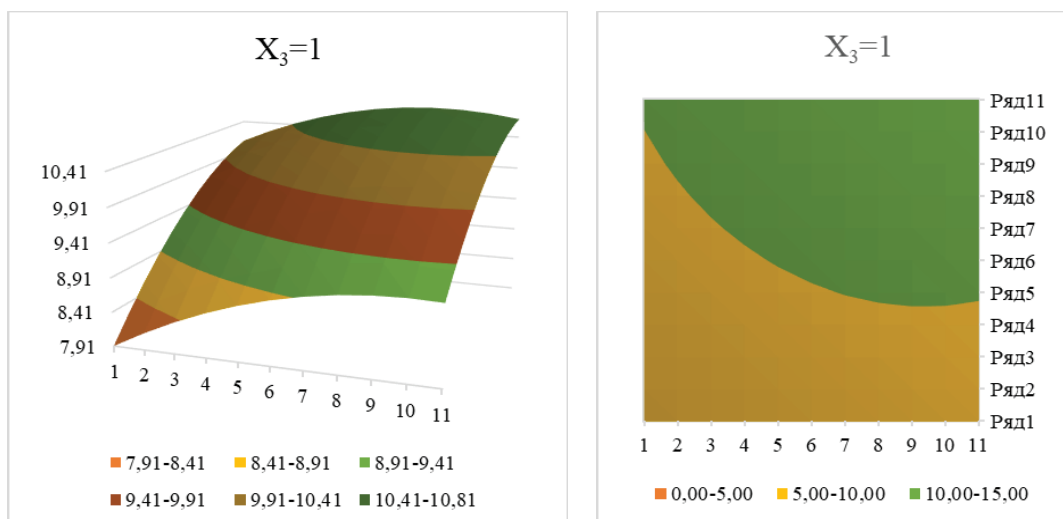


Рисунок 3 – Трехмерная диаграмма зависимости $Y = f(X_1, X_2)$ при $X_3=1$ и двумерное сечение поверхности отклика

Оценка адекватности уравнения регрессии проводилась путем расчета критерия Фишера. Рассчитанное значение критерия 1,21055, табличное значение – 2,02523. $F_{\text{эксп}} < F_{\text{табл}}$, значит уравнение адекватно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагер Б. Г., Карпов В. В., Вариационное исчисление, вариационные методы и вариационные принципы в задачах строительного профиля // Б. Г. Вагер, В. В. Карпов и др. – Электронные данные. – URL: <http://vi.horizalru.com/> (дата обращения: 12.01.2026).
2. Михлин С. Г., Вариационные методы в математической физике – М.: Наука, 1970. – 512 с.