

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПОСРЕДСТВОМ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Д.С. Лемза, Е.В. Мороз, О.В. Павлова, М.М. Трусова
Гродненский государственный университет имени Янки Купалы

Процессы реального сектора промышленности, сельского хозяйства, экологии часто нуждаются в прогнозировании функционирования системы, которое является ключевой научно-технической задачей, связанной с обоснованием возможности реализации данного процесса и определением его оптимальных параметров, условий и режимов. На этапах конструирования и проектирования сложных систем и технологий значительную роль играют математические методы планирования экспериментов, способствующие интенсификации исследований, оптимизации параметров, повышению достоверности результатов и, как следствие, качества конечной продукции. Решение задач по оптимизации технологических стадий базируется на планировании экспериментов и применении регрессионного анализа – статистического инструментария для исследования взаимосвязей переменных. Планирование эксперимента определяет необходимое и достаточное количество опытов для достижения требуемой точности, базируясь на принципах минимизации числа испытаний, повышения точности измерений, одновременного варьирования факторами и формализации действий через математический аппарат [1-3]. Учитывая неизбежные погрешности измерений и влияние неконтролируемых факторов, важнейшим этапом экспериментальных исследований является установление адекватности полученных решений. В этой связи регрессионный анализ нацелен на предсказание значений зависимой переменной (отклика) по значениям независимых переменных (предикторов), оценку тесноты связей между ними и степени влияния факторов. Метод предполагает построение математической модели, отражающей характер изменения отклика. Для формирования эффективной модели проводится предварительный анализ значимости факторов с их последующим ранжированием и исключением малозначимых. С этой целью в рамках регрессионного анализа реализуются полные факторные эксперименты. Методология полного факторного эксперимента предполагает реализацию следующих этапов: кодирование факторов, формирование матрицы планирования, проведение экспериментальных измерений, оценка воспроизводимости опытов, определение значимости коэффициентов регрессии и проверка адекватности линейной модели. Кодирование факторов является необходимым условием перехода от натуральных значений переменных к безразмерным, что позволяет применить стандартную ортогональную матрицу планирования. Для каждого фактора устанавливаются основной уровень (исходное значение) и интервал варьирования. Верхний уровень соответствует сумме основного уровня и интервала варьирования, нижний – их разности (таблица).

Таблица – Уровни варьирования факторов

Фактор	Условное обозначение фактора	Уровень			Интервал варьирования (λ)
		Нижний (-)	Средний (0)	Верхний (+)	
Температура, °C	X_1	20	40	60	20
pH	X_2	3	6	9	3
Экспозиция, мин	X_3	60	120	180	60

Следующий этап включает формирование матрицы планирования эксперимента средствами программы STATGRAPHICS, интерпретацию результатов с выявлением достоверных факторов и их комбинаций (рисунок 1), а также построение регрессионных уравнений (рисунок 2).

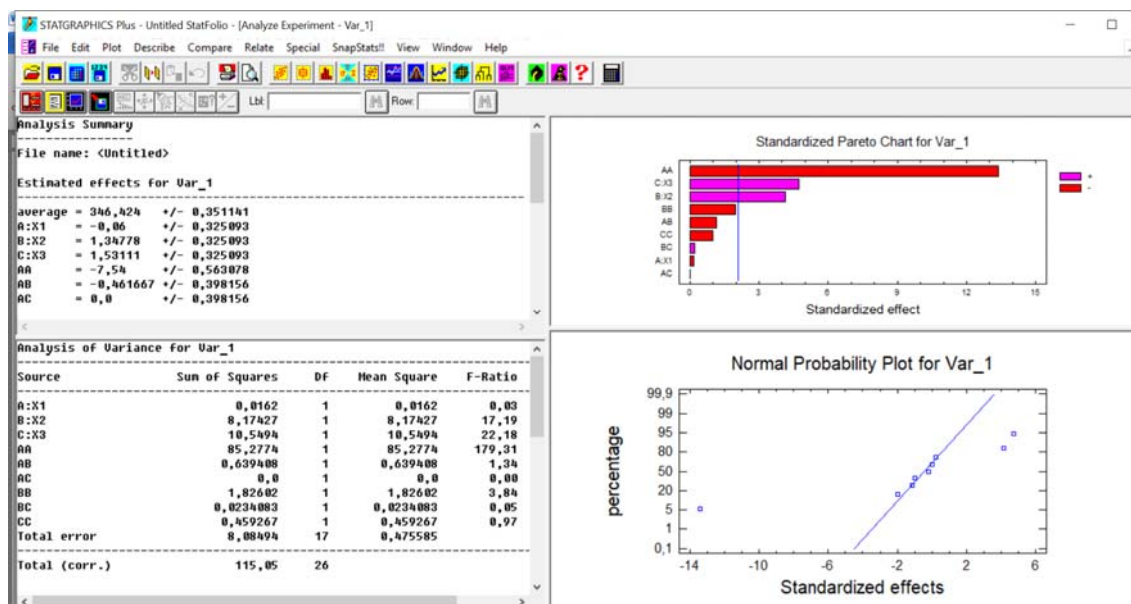


Рисунок 1. – Построение карты Парето

Интерпретация полученных результатов: значимыми факторами, а также их сочетаниями являются варианты, которые в графике пересечены, синей вертикальной линией. Справа есть сноска о влиянии фактора на контролируемый показатель – «влияет отрицательно», + «влияет положительно».

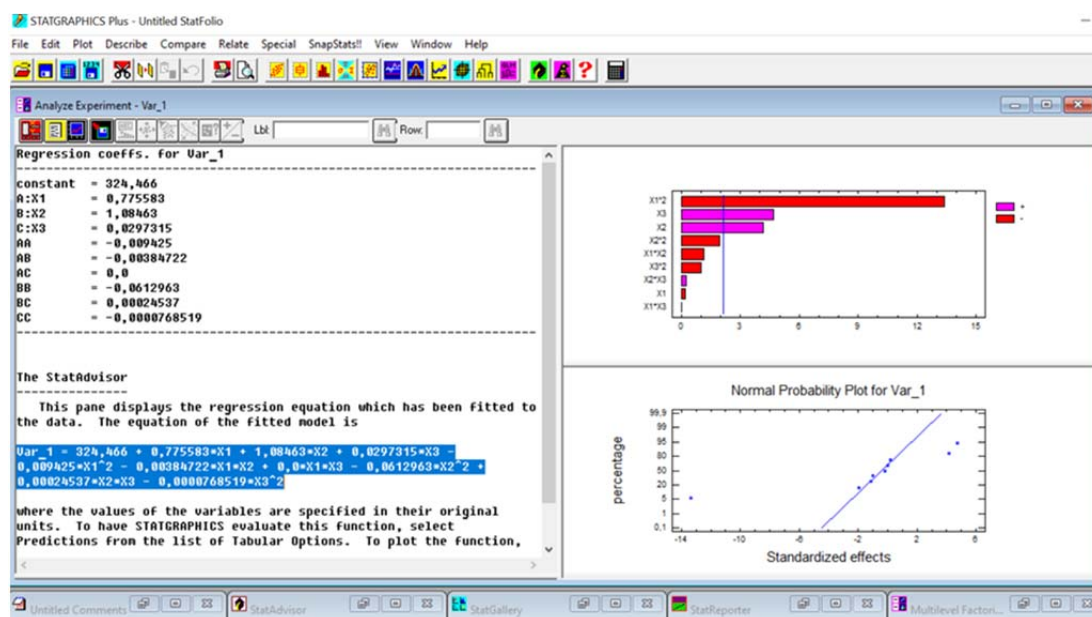


Рисунок 2. – Построение уравнения регрессии

С помощью анализа карты Парето из уравнения регрессии исключаются незначимые коэффициенты уравнения регрессии, а также приводится уравнение в более упорядоченный вид округляя цифры до сотых. Уравнение должно считаться, это значит при подстановке вместо переменных значений факторов получается приблизительное значение контролируемого показателя полученное в ходе эксперимента при этих условиях. Адекватность полученной математической модели процесса оценивается по коэффициенту детерминации R^2 . Определение диапазонов варьирования факторов, обеспечивающих достижение заданного значения контролируемого показателя, осуществляется методом построения поверхностей отклика в программном пакете STATISTICA (рисунок 3).

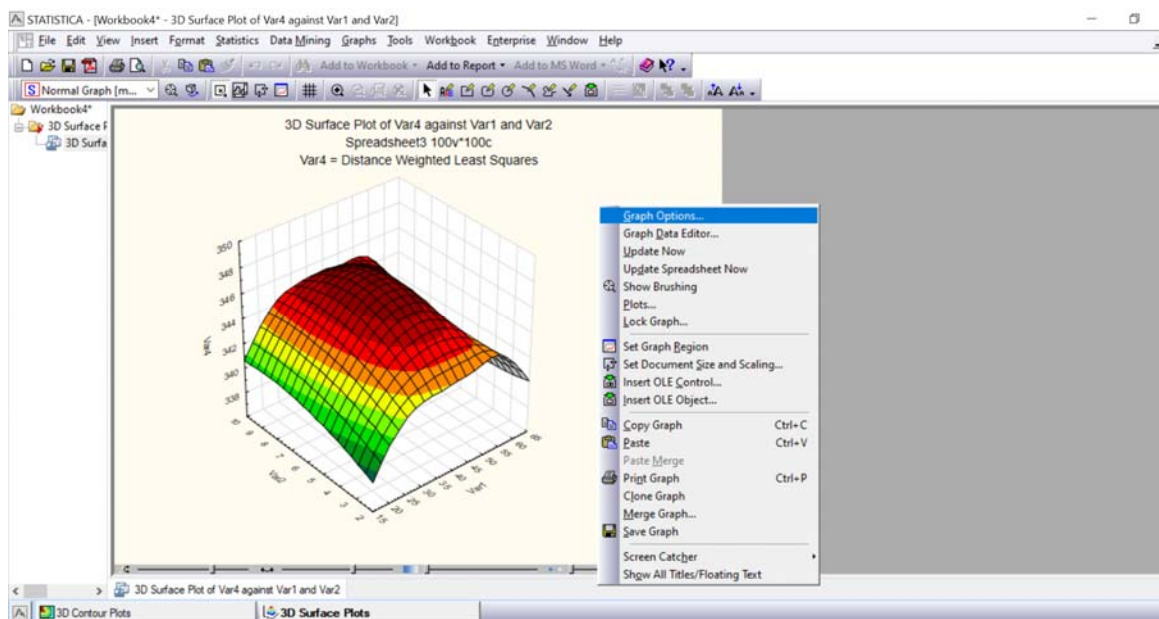


Рисунок 3. – Построение поверхности отклика

Поверхность отклика выступает в качестве средства перспективной оценки динамики контролируемого показателя, предоставляя исследователю возможность принять обоснованное решение о целесообразности корректировки диапазонов варьирования факторов или об остановке эксперимента. Кроме того, построение поверхностей отклика позволяет графически интерпретировать влияние исследуемых факторов на целевой параметр, расширить интервалы варьирования и уточнить их оптимальные значения. Таким образом, решение задач планирования экспериментов и обработки эмпирических данных реализуется с использованием программных комплексов STATISTICA и STATGRAPHICS, которые дают возможность определить коэффициенты регрессионных уравнений, адекватно описывающих установленные зависимости.

Список использованных источников

1. Ковель, А.А. Математическое планирование эксперимента при отработке электронных элементов/А.А. Ковель// Известия ВУЗов. Приборостроение. – 2008. – 52, №8. – С. 13-17.
2. Pavlova, O. Optimisation of conditions for deacetylation of chitin-containing raw materials /O. Pavlova// Food science and technology. – 2021. – 15, № 3. – С. 63–70.
3. Бугаев, Ю.В. О статистической устойчивости оптимального решения, найденного по уравнению регрессии/ Ю.В. Бугаев// Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2024. – 86(2). – С. 48-55.