

лях данного типа эффективность смешивания возрастает с увеличением числа пересечений траекторий и встречных движений компонентов, высокой температуры гранулированной среды, которая создаст благоприятные условия для наиболее полного взаимного проникновения смешиваемого материала.

#### Список использованных источников

1. Гусев Ю.И. Конструирование и расчет машин химических производств/Ю.И. Гусев, И.Н. Карасев, Э.Э. Кольман-Иванов и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.

2. Анциферов С.И. Повышение эффективности процесса смешивания, а счет совершенствования конструкции планетраного смесителя: Дисс. канд. техн. наук. – Белгород, 2017. – 187 с.

**Домбровская Я.П., к.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет  
инженерных технологий», г. Воронеж  
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОСНОВА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ  
ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБА С ВОДНО-МЕДОВЫМ  
ЭКСТРАКТОМ ТРАВЫ ЗВЕРОБОЯ, СБРОЖЕННЫМ  
МОЛОЧНОКИСЛЫМИ БАКТЕРИЯМИ**

С целью изучения влияния параметров замеса теста для пшеничного хлеба на показатели качества готовых изделий, было применено центральное композиционное ротатабельное равномерное планирование. Метод позволяет получить математическое описание исследуемого процесса, некоторой локальной области фактического пространства, так называемых «звездных точек», что позволяет построить математическую модель в виде уравнения регрессии второго порядка. Уравнение регрессии позволяет геометрически интерпритировать результаты планирования эксперимента.

Основными факторами, влияющими на показатели качества изделия (за образец был взят хлеб белый из пшеничной муки высшего сорта ГОСТ 26987-86) определены: влажность теста –  $X_1$ , %, дозировка сброженного экстракта травы зверобоя –  $X_2$ , %. Все эти факторы совместимы и некоррелированы между собой. Критерием оценки влияния условий приняли удельный объем –  $Y_1$ , см<sup>3</sup>/100 г

массы и пористость изделий –  $Y_2$ , %. Пределы изменения факторов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики планирования

Характеристики планирования	$x_1$ , %	$x_2$ , %
Основной уровень	44,50	6,00
Интервал варьирования	3,00	3,00
Верхний уровень	47,50	9,00
Нижний уровень	41,50	3,00
Верхняя «звездная» точка	48,74	10,02
Нижняя «звездная» точка	40,26	1,76

В результате статистической обработки экспериментальных данных получили уравнения регрессии, адекватно описывающие при 5 %-ном уровне значимости данный процесс под влиянием исследуемых факторов:

$$Y_1 = 349,0 - 1,9X_1 - 0,41X_2 + 0,5X_1 \cdot X_2 - 5,28X_1^2 - 4,53X_2^2, \quad (1)$$

$$Y_2 = 75,91 - 1,61X_1 - 3,64X_2 + 0,63X_1 \cdot X_2 - 2,58X_1^2 - 2,45X_2^2. \quad (2)$$

Поверхности отклика, описываемые уравнениями (1 и 2) приведены на рисунке 1, центры поверхностей отклика  $y_1$  и  $y_2$  расположены в окрестности центра плана эксперимента.

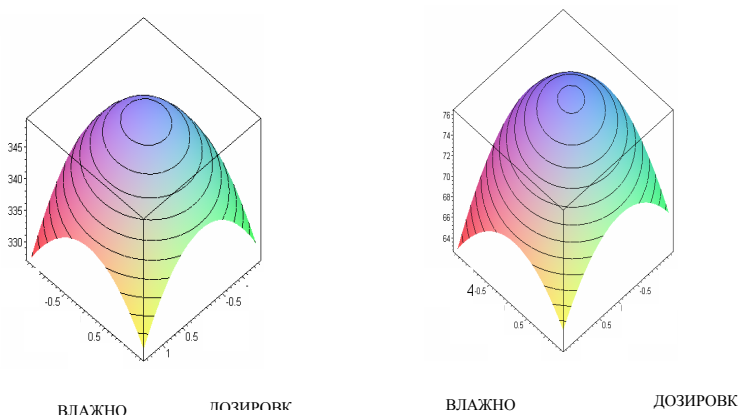


Рисунок 1 – Поверхности отклика зависимости удельного объема  $y_1$ ,  $\text{см}^3/100 \text{ г}$  и пористости  $y_2$ , % от влажности теста  $x_1$ , % и дозировки СБВМЭ травы зверобоя  $x_2$ , %

Для поиска оптимальных параметров  $x_1$  и  $x_2$  сформулировали задачу оптимизации следующим образом. Необходимо найти такие значения независимых переменных  $x_1$  и  $x_2$ , обеспечивающих заданные значения функций отклика  $y_1 = f_1(X_1, X_2)$  и  $y_2 = f_2(X_1, X_2)$ . Значения независимых переменных  $X_1$  и  $X_2$  при этом не должны выходить за область эксперимента, границы которой определяются значениями факторов в звездных точках. Указанное ограничение аналитически может быть записано в виде выражения:

$$\varphi(X_1, X_2) = X_1^2 + X_2^2 = \rho^2, \quad (3)$$

что в факторном пространстве (в случае двух независимых переменных) представляет собой сферу радиусом  $\rho$ , центр которой совпадает с центром эксперимента. Таким образом, задача оптимизации аналитически записывается как

$$\begin{cases} y_1(X_1, X_2) \rightarrow \max \\ 80 \leq y_2(X_1, X_2) \leq 90; \\ X_1^2 + X_2^2 = \rho^2 \end{cases} \quad (4)$$

Для решения поставленной задачи воспользовались методом неопределенных множителей Лагранжа. Для этого составили целевую функцию вида

$$F(X_1, X_2, \lambda) = y_1(X_1, X_2) + \lambda \varphi(X_1, X_2), \quad (5)$$

где  $\lambda$  – неопределенный множитель Лагранжа.

С учетом уравнений (4) и (5) получили целевую функцию  $F(X_1, X_2, \lambda) = 349,0 - 1,9X_1 - 0,41X_2 + 0,5X_1 \cdot X_2 - 5,28X_1^2 - 4,53X_2^2 + \lambda(X_1^2 + X_2^2 - \rho^2)$ , (6)

Составим систему уравнений

$$\begin{cases} \frac{dF(X_1, X_2, \lambda)}{dX_1} = -1,9 + 0,5X_2 - 10,56X_1 + 2\lambda X_1 = 0 \\ \frac{dF(X_1, X_2, \lambda)}{dX_2} = -0,41X_2 + 0,5X_1 - 9,06X_2 + 2\lambda X_2 = 0 \\ \frac{dF(X_1, X_2, \lambda)}{d\lambda} = X_1^2 + X_2^2 - \rho^2 = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Для решения системы уравнений (7) с последующим вычислением значений функций отклика воспользовались интегрированным

ным пакетом MAPLE 8. Расчет вели при изменении радиуса сферы в диапазоне от 1,4 до 0.

Таким образом, с помощью математического аппарата подтверждена рациональная дозировка сброженного экстракта травы зверобоя – 6,00 % при влажности теста 43,5 %. Эти значения параметров обеспечивают максимальные значения удельного объема ( $355,00 \text{ см}^3/100 \text{ г}$  массы) и пористости (80,00 %).

#### Список использованных источников

1. Домбровская, Я.П. Анализ технологических факторов, влияющих на экстрагирование биологически активных веществ из растительного сырья [Текст] / Я.П. Домбровская // Материалы LX отчётной научной конференции преподавателей и сотрудников ВГУИТ за 2021 г. в 3 частях. под ред. О.С. Корнеевой; Воронеж. гос. ун-т инж. технолог. – 2022 г. С. 17.

**Дубодел И.Б., к.т.н., доцент, Корко В.С., к.т.н., доцент,  
Кардашов П.В., к.т.н., доцент**

### **УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ВОЗМОЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ рН ВОДНЫХ РАСТВОРОВ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ**

Изменение рН в водных растворах солей будет происходить в том случае, если электрохимически изменять концентрацию либо ионов водорода, либо ионов гидроксила.

Уменьшение ионов водорода, т.е. повышение рН раствора будет происходить в том случае, если на катоде будет достигнут потенциал более отрицательный, чем потенциал водородного электрода, соответствующий окислительно-восстановительному равновесию:  $2H^+ + 2e = H_2$ :

$$\varphi_{H_2} = \varphi_{H_2}^0 + \frac{2,303RT}{2F} \lg \frac{P_{H_2}}{a_{H^+}^2} = -0,0591 \text{pH}.$$

Уменьшение ионов гидроксила, т.е. понижение рН, будет наблюдаться в прианодной зоне при достижении потенциала более