

УДК 664.66:615.857.63:621.72

Е.И. Пономарева, А.Ю.Кривошеев, А.А. Журавлев, С.И. Лукина
**РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА АХЛОРИДНОГО
ХЛЕБА МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**
*Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Воронеж, Россия*

Актуальным направлением развития хлебопекарной промышленности является разработка новых рецептур и ресурсосберегающих технологий хлебобулочных изделий для диетического питания. Для создания новых видов ахлоридных изделий широкого ассортимента перспективно применение нетрадиционного сырья растительного происхождения: муки из цельносмолотого зерна пшеницы, муки из отрубей гречишных и напитка сывороточного «Актуаль». Важным условием получения изделий стабильно высокого качества и повышения эффективности производства является установление рациональных дозировок рецептурных компонентов при приготовлении теста. Для исследования взаимодействия основных технологических факторов, влияющих на процесс приготовления и качество хлеба, применены математические методы планирования эксперимента. Оптимизацию параметров приготовления теста для ахлоридного хлеба проводили экспериментально-статистическими методами. В результате проведенного эксперимента была построена математическая модель в виде регрессионного уравнения, адекватно описывающего исследуемый процесс. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена по критериям Стьюдента, Кохрена и Фишера (при доверительной вероятности 0,95). Графическая интерпретация регрессионного уравнения позволила предварительно определить оптимальную область факторного пространства, в которой достигается наибольшее значение выходного параметра – удельного объема хлеба. Определены рациональные значения факторов: дозировка муки из отрубей гречишных - 4,87 %, сывороточного напитка «Актуаль» - 24,86 % для приготовления хлеба из смеси муки пшеничной первого сорта и цельносмолотого зерна пшеницы в соотношении 50:50. Правильность их выбора была подтверждена серией параллельных экспериментов с достаточной сходимостью результатов при среднеквадратичной ошибке не более 0,67 %. На основе полученных данных разработана рецептура и способ производства ахлоридного хлеба «Симфония».

Ключевые слова: нетрадиционные виды сырья, ахлоридный хлеб, центральное композиционное ротатабельное униформ-планирование, оптимизация.

Введение

В настоящее время диетическое питание является неотъемлемой составляющей здорового образа жизни и важнейшей составной частью комплексного лечения больных. В основу диетотерапии положен принцип рационального питания человека, которое должно изменяться как качественно, так и количественно в соответствии с конкретным заболеванием. Так, например, ахлоридное питание рекомендовано для лиц с артериальной гипертензией, сердечной и почечной недостаточностью, нефропатией беременных и другими заболеваниями, требующими

ограничения поступления соли с пищевыми продуктами. Основными представителями последних являются хлебобулочные изделия с низким содержанием натрия. Обеспечение населения страны высококачественными хлебобулочными изделиями, расширение ассортимента продукции диетического назначения и повышение ее объемов производства осуществляется в рамках реализации Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности РФ до 2020 г. и Доктрины продовольственной безопасности РФ.

Для разработки новых видов ахлоридных изделий широкого ассортимента перспективно применение нетрадиционного сырья растительного происхождения: муки из цельносмолотого зерна пшеницы, муки из отрубей гречишных и напитка сывороточного «Актуаль».

Мука из цельносмолотого зерна пшеницы (ТУ 9293-001-312366828200094-2013) благодаря применению дезинтеграционно-волнового способа измельчения характеризуется 100 % выходом, высокой дисперсностью (в среднем 38-40 мкм), повышенной пищевой ценностью. В ней остаются все составные части зерна, обладающие большим потенциалом по содержанию белковых веществ и незаменимых аминокислот, пищевых волокон, витаминов и минеральных веществ. Проведенными исследованиями установлена целесообразность применения муки из цельносмолотого зерна пшеницы в производстве хлебобулочных изделий широкого ассортимента, в т.ч. для диетического и профилактического питания. Регулярное употребление изделий из данной муки способствует активизации собственной микрофлоры человека, улучшению процессов пищеварения, повышению усвояемости других продуктов [1].

Мука из отрубей гречишных (ТУ 9293-293-02068108-2014) в производстве ахлоридного хлеба применяется в качестве обогатителя пищевыми волокнами (их содержание составляет около 43 %), микро- и макроэлементами, витаминами. В ней присутствует рутин – флавоноид, обладающий противовоспалительным и бактерицидным действием, а также кверцетин – природное вещество, обладающее антиоксидантными свойствами [2].

В состав напитка сывороточного «Актуаль» (ТУ 9226-061-13605199-2011) входит молочная сыворотка, сок из апельсина и манго. Применяется он как источник незаменимых аминокислот, ферментов (протеаза, пептидаза, липаза, фосфатаза, лактаза), органических кислот (молочная, масляная, уксусная, пропионовая, муравьиная), витаминов (особенно группы В), минеральных веществ и других ценных пищевых веществ. Из-за богатого химического состава сывороточный напиток является профилактическим средством против респираторных заболеваний,

способствует повышению иммунитета и укреплению кровеносных сосудов [3].

Важным условием обеспечения стабильно высокого качества нового вида изделия и повышения эффективности его производства является установление рациональной дозировки компонентов, входящих в рецептуру ахлоридного хлеба. Разработка математических моделей позволит упростить процесс вычисления и получить продукт с заданными качественными и количественными характеристиками.

Целью работы явилось исследование взаимодействия основных технологических факторов, влияющих на процесс приготовления и качество хлебобулочных изделий, поиск рациональных их значений с использованием методов статистического моделирования.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись хлебобулочные изделия. За основу был взят хлеб ахлоридный, вырабатываемый по ГОСТ 25832-89. Тесто для опытных образцов готовили влажностью 47 % безопасным способом, при этом 50 % муки пшеничной первого сорта заменили на муку цельнозернового зерна пшеницы, дополнительно вносили муку из отрубей гречишных и сывроточный напиток «Актуаль». Продолжительность брожения теста составляла 90 мин до кислотности 4,0-4,5 град. Выброженное тесто подвергали разделке, расстойке в течение 40-50 мин и выпечке в течение 30-35 мин при температуре 215-220 °С. Выпеченные изделия охлаждали.

В работе применяли центральное композиционное ротатабельное равномерное планирование эксперимента. Обработку экспериментальных данных проводили по статистическим критериям: Кохрена, Стьюдента и Фишера при доверительной вероятности 0,95 [4, 5].

В качестве основных факторов выбраны дозировки рецептурных компонентов, % к общей массе муки: x_1 – муки из отрубей гречишных (МОГ); x_2 – напитка сывроточного «Актуаль» (Таблица 1). В качестве выходного параметра у использовали удельный объем хлеба, как основной физико-химический показатель качества готового изделия. Объем хлеба определяли по методике, приведенной в ГОСТ 8494-96, расчет удельного объема осуществляли на 100 г продукта.

Таблица 1 – Характеристики планирования

Условия планирования	Значения факторов	
	Дозировка МОГ x_1 , %	Дозировка сывороточного напитка «Актуаль» x_2 , %
Основной уровень (0)	5,0	15,0
Интервал варьирования	3,55	7,09
Верхний уровень (+1)	8,55	22,09
Нижний уровень (-1)	1,45	7,91
Верхняя «звездная» точка (+1,41)	10,0	25,0
Нижняя «звездная» точка (-1,41)	0	5,0

Выбор интервалов изменения факторов обусловлен технологическими характеристиками и качеством готовых изделий. Внесение МОГ менее 1,5 % и сывороточного напитка менее 5 % неэффективно, так как не оказывает значимого влияния на качество и пищевую ценность изделий. Увеличение дозировки МОГ свыше 10 % приводит к повышению вязкости теста, полуфабрикат имеет “крутую” консистенцию, что затрудняет его формование и сказывается на формировании его свойств в процессе брожения, расстойки и выпечки, готовые изделия характеризуются низким объемом. Внесение сывороточного напитка более 25 % увеличивает начальную кислотность теста выше значения, требуемого технологической инструкцией по приготовлению теста.

Оптимизацию технологических параметров приготовления теста для ахлоридного хлеба повышенной пищевой ценности проводили экспериментально-статистическими методами [6] в несколько этапов.

Результаты и их обсуждение

Первый этап заключался в построении математической модели, которая адекватно описывает зависимость функции отклика y от входных факторов. В соответствии с матрицей планирования был выполнен полный факторный эксперимент (ПФЭ) типа 2^3 (таблица 2, опыты 1 – 4). Проведение каждого опыта осуществляли в двух кратной повторности. В

центре плана были реализованы 5 параллельных опытов (таблица 2, опыты 9 – 13) с учетом возможного в дальнейшем перехода к планированию второго порядка. Порядок опытов рандомизировали посредством таблицы случайных чисел. В Таблице 2 представлены средние арифметические значения функции отклика y^3 в двух параллельных опытах.

Таблица 2 – Матрица планирования и результаты эксперимента

№ опыта	Кодированные значения факторов		Натуральные значения факторов		Функция отклика, $\text{см}^3/100 \text{ г}$		Относительная ошибка $\delta, \%$
	X_1	X_2	$x_1, \%$	$x_2, \%$	Экспериментальное значение $y^3, \text{см}^3/100 \text{ г}$	Расчетное значение по модели (2) $y, \text{см}^3/100 \text{ г}$	
1	-1	-1	1,45	7,91	215	212,11	1,34
2	+1	-1	8,55	7,91	214	213,87	0,06
3	-1	+1	1,45	22,09	219	218,85	0,07
4	+1	+1	8,55	22,09	216	218,61	1,21
5	-1,41	0	0	15,0	210	212,11	1,01
6	+1,41	0	10,0	15,0	215	213,18	0,84
7	0	-1,41	5,0	5,0	213	215,05	0,98
8	0	+1,41	5,0	25,0	225	223,17	0,81
9	0	0	5,0	15,0	221	221,2	0,09
10	0	0	5,0	15,0	220	221,2	0,55
11	0	0	5,0	15,0	222	221,2	0,36
12	0	0	5,0	15,0	223	221,2	0,81
13	0	0	5,0	15,0	220	221,2	0,55

По плану ПФЭ типа 2^2 рассчитываются оценки четырех регрессионных коэффициентов, и строится уравнение первого порядка. Известно [7], что оценкой выхода процесса в центральной точке эксперимента, смешанной с суммарной оценкой квадратичных эффектов всех факторов, является свободный член b_0 уравнения регрессии. По значимости квадратичных эффектов можно спрогнозировать, что экспериментальные значения будут значительно отличаться от результатов опытов в центре плана эксперимента. Параллельные опыты в центре плана эксперимента дают возможность описать изучаемую зависимость уравнением первого порядка без включения в него квадратичных членов и расчета всех оценок коэффициентов уравнения (кроме b_0).

На данном этапе рассчитывали значения свободного члена b_0 , среднеарифметические значения функции отклика \bar{y}_0 в центре эксперимента, оценку дисперсии разности $S^2(\bar{y}_0 - b_0)$ и доверительную ошибку разности ε (Таблица 3).

Таблица 3 – Результаты расчета доверительной ошибки

Наименование показателя	Значение
Свободный член b_0	216,0
Среднее арифметическое значение функции отклика в центре эксперимента \bar{y}_0	221,2
Оценка дисперсии разности $S^2(\bar{y}_0 - b_0)$	1,74
Разность $ \bar{y}_0 - b_0 $	5,2
Доверительная ошибка разности ε	2,85

Доверительную ошибку разности ε рассчитывали по формуле

$$\varepsilon = t_m \cdot \sqrt{S^2(\bar{y}_0 - b_0)}, \quad (1)$$

где t_m – табличное значение критерия Стьюдента при заданной доверительной вероятности 0,95 ($t_m = 2,16$).

Анализ результатов таблицы 3 показал выполнение условия $\varepsilon < |\bar{y}_0 - b_0|$. Так как различие между \bar{y}_0 и b_0 при заданной доверительной вероятности 0,95 существенно, полученное уравнение регрессии дает неудовлетворительное математическое описание, следовательно, необходимо выполнить планирование второго порядка, учитывающее в уравнении оценки квадратичных эффектов факторов.

Для этого в исходную матрицу планирования включили опыты в «звездных» точках (таблица 2, опыты 5 – 8). Величина «звездного» плеча ($\pm 1,41$) выбрана в соответствии с необходимостью получения униформ-ротатабельного плана, обеспечивающего одинаковые величины дисперсии предсказания в пределах изучаемой области для любой точки. Опыты в «звездных» точках проводили в двух кратной повторности. Средние арифметические значения функции отклика в двух параллельных опытах приведены в Таблице 2.

При статистической обработке результатов планирования эксперимента (таблица 2) получено уравнение регрессии, которое дает адекватное описание зависимости удельного объема хлеба y от входных факторов:

$$y(X_1, X_2) = 221,2 + 0,38X_1 + 2,87X_2 - 0,5X_1X_2 - 4,3X_1^2 - 1,04X_2^2, \quad (2)$$

где X_i – кодированные значения факторов, связанные с натуральными значениями x_i соотношениями:

$$X_1 = \frac{x_1 - 5}{3,55}; \quad X_2 = \frac{x_2 - 15}{7,09}. \quad (3)$$

Второй этап эксперимента заключался в интерпретации регрессионного уравнения (2). Математическое описание в виде уравнения (2) позволяет предсказать значение выходного параметра y при заданных условиях проведения эксперимента и дает информацию о форме поверхности отклика, что является весьма важным для выбора оптимальных режимов проведения процесса.

Одним из технических приемов исследования поверхностей второго порядка является метод сечений, оперирующий уравнениями в канонической форме [8]. Однако, приведение уравнения вида (2) к канонической форме представляет собой, как правило, трудоемкую вычислительную операцию. Это связано с тем, что каноническая система координат, вследствие сдвига и поворота координатных осей, не совпадает с изучаемой системой координат.

Альтернативой данному методу является метод, основанный на вычислении и анализе значений ортогональных инвариантов поверхностей второго порядка [9].

Для этого представим регрессионное уравнение (2) в виде общего уравнения поверхности 2-го порядка:

$$a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{12}xy + 2a_{13}xz + 2a_{23}yz + 2a_1x + 2a_2y + 2a_3z + a_0 = 0, \quad (4)$$

где a_0, a_{ii} – коэффициенты уравнения поверхности 2-го порядка; x, y и z – переменные, которые соответствуют факторам X_1, X_2 и функции отклика y .

Сопоставляя регрессионное уравнение (2) с общим уравнением поверхности (4), определяем коэффициенты a_0 и a_{ii} (Таблица 4). Информацию о конфигурации поверхности 2-го порядка, которая описывается уравнением (2), дают четыре основных инварианта и два семиинварианта (полуинварианта) квадратичной функции (4).

Таблица 4 – Значения коэффициентов общего уравнения поверхности 2-го порядка (5)

Коэффициент	a_{11}	a_{22}	a_{33}	a_{12}	a_{13}	a_{23}	a_1	a_2	a_3	a_0
Значение	-4,3	-1,04	0	-0,25	0	0	0,19	1,43	-0,5	221,2

Основные инварианты I_3 и I_4 , составленные из коэффициентов общего уравнения (2), равны [9]:

$$I_3 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -4,3 & -0,25 & 0 \\ -0,25 & -1,04 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0;$$

$$I_4 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_2 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_3 \\ a_1 & a_2 & a_3 & a_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -4,3 & -0,25 & 0 & 0,19 \\ -0,25 & -1,04 & 0 & 1,435 \\ 0 & 0 & 0 & -0,5 \\ 0,19 & 1,435 & -0,5 & 221,2 \end{vmatrix} = -1,10237.$$

Вычисления инвариантов показывают, что поверхность отклика, описываемая уравнением (10), является нецентральной ($I_3 = 0$) и имеет вид эллиптического параболоида (параболоид вращения) ($I_4 = -1,10237 < 0$).

Поскольку исчерпывающая информация о конфигурации поверхности отклика получена на основании всего лишь двух инвариантов I_3 и I_4 , то нет необходимости в вычислении и анализе всех оставшихся инвариантов и полуинвариантов.

Графическая интерпретация регрессионного уравнения (2) в виде эллиптического параболоида представлена на Рисунок 1.

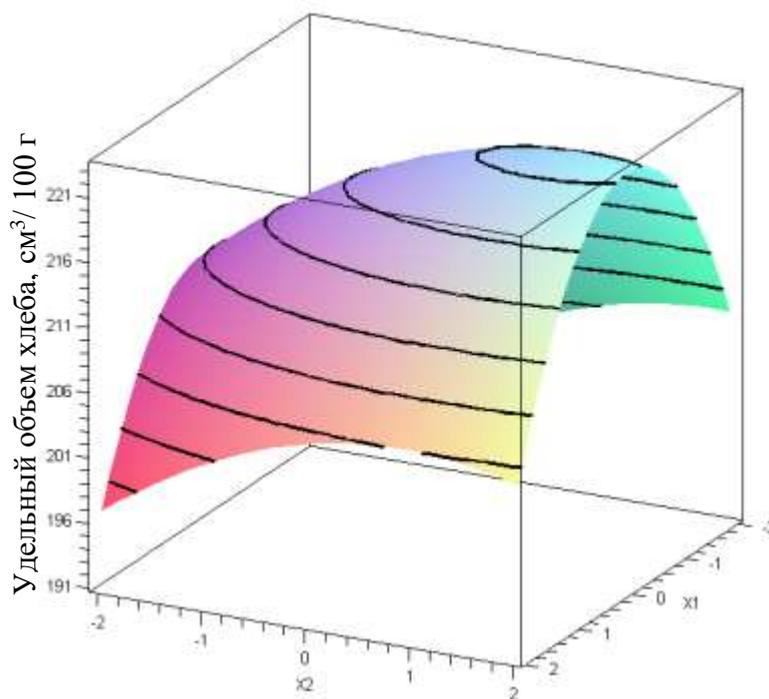


Рисунок 1 – Поверхность отклика

Более детальную информацию о конфигурации поверхности отклика дают ее двумерные сечения. На рисунке 2 представлены плоские сечения (линии равного уровня) поверхности отклика. Видно, что сечения

эллиптического параболоида координатными плоскостями $y = h$ (где h – произвольная постоянная) имеют вид эллипсов. Там же на рисунке 2 представлено двумерное сечение области эксперимента в виде окружности, радиус которой равен величине “звездного” плеча ($R = 1,41$), центр которой совпадает с центром эксперимента.

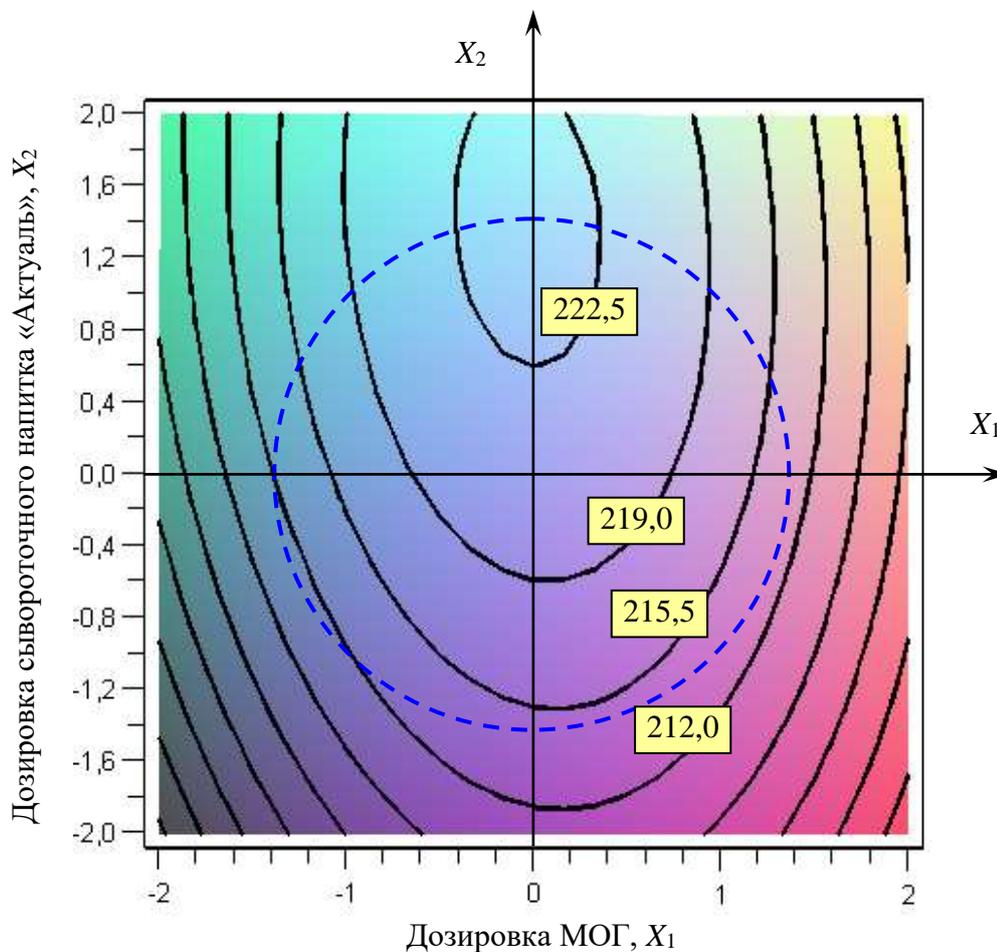


Рисунок 2 - Двумерные сечения поверхности отклика
(числа на кривых - значение удельного объема хлеба, см³/ 100 г)

Анализ двумерных сечений поверхности отклика позволяет предварительно определить оптимальную область факторного пространства, в которой достигается наибольшее значение выходного параметра y . Очевидно (см. рисунок 2), такой режим соответствует окрестностям "звездной" точки с координатами $X_1 = 0$ и $X_2 = 1,41$ (согласно таблице 1 дозировка МОГ $x_1 = 5$ % и дозировка напитка сывороточного «Актуаль» $x_2 = 25$ %). Полученные результаты согласуются с данными, полученными в результате предварительно проведенных исследований по влиянию применяемых нетрадиционных видов сырья на формирование свойств теста и показателей качества готовых изделий.

Третий этап заключался в оптимизации технологических параметров приготовления теста. В качестве критерия оптимизации использовали величину удельного объема хлеба, зависящего от дозировок МОГ X_1 и сывороточного напитка «Актуаль» X_2 . Целевая функция $y(X_1, X_2)$ представлена в виде уравнения регрессии (2).

Необходимым условием экстремума функции (2) является равенство нулю частных производных функции $y(X_1, X_2)$ по независимым переменным X_1 и X_2 :

$$\begin{cases} \frac{\partial y(X_1, X_2)}{\partial X_1} = 0,38 - 0,5X_2 - 8,6X_1 = 0 \\ \frac{\partial y(X_1, X_2)}{\partial X_2} = 2,87 - 0,5X_1 - 2,08X_2 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Решением системы (5) являются координаты $X_1^* = -0,036$ и $X_2^* = 1,39$ стационарной точки, в которой может находиться экстремум функции $y(X_1, X_2)$.

Условие (5) является необходимым условием существования экстремума функции двух переменных (2), но не достаточным. Проверку достаточного условия существования найденного экстремума и установление его характера проводили с помощью определителя, элементами которого являются частные производные

$$\Delta = \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 y}{\partial X_1^2} & \frac{\partial^2 y}{\partial X_1 \partial X_2} \\ \frac{\partial^2 y}{\partial X_2 \partial X_1} & \frac{\partial^2 y}{\partial X_2^2} \end{vmatrix}. \quad (6)$$

В стационарной точке частные производные $\frac{\partial^2 y}{\partial X_1^2} = -8,6$, $\frac{\partial^2 y}{\partial X_2^2} = -2,08$ и $\frac{\partial^2 y}{\partial X_1 \partial X_2} = \frac{\partial^2 y}{\partial X_2 \partial X_1} = -0,5$, а значение определителя (6) равно

$$\Delta = \frac{\partial^2 y}{\partial X_1^2} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial X_2^2} - \left(\frac{\partial^2 y}{\partial X_1 \partial X_2} \right)^2 = 17,638.$$

Поскольку в стационарной точке $\Delta > 0$ и $\frac{\partial^2 y}{\partial X_1^2} < 0$, то искомая точка с координатами $X_1^* = -0,036$ и $X_2^* = 1,39$ является точкой максимума целевой функции (2). Максимальное значение параметра оптимизации (удельный объем хлеба) при этом составит $y^* = 223,18 \text{ см}^3/100 \text{ г}$.

Переход от кодированных значений факторов к натуральным осуществляли с учетом характеристик планирования (см. таблицу 1). В результате получены рациональные значения дозировки МОГ $x_1 = 4,87\%$ и напитка сывороточного «Актуаль» $x_2 = 24,86\%$.

На четвертом этапе проводилась работа по оценке степени точности и надежности полученного значения критерия оптимизации.

Дисперсия предсказанного значения критерия оптимизации [7]

$$S^2(y) = S_{b_0}^2 + S_{b_i}^2 R^2 + S_{b_{ii}}^2 R^4 + 2 cov_{b_0 b_{ii}} R^2, \quad (7)$$

где $S_{b_0}^2$, $S_{b_i}^2$, $S_{b_{ii}}^2$, – дисперсии при определении коэффициентов регрессии b_0 , b_i , b_{ii} соответственно; $cov_{b_0 b_{ii}}$ – ковариация; R – радиус сферы, на которой расположена точка с оптимальными значениями факторов $X_1^* = -0,036$ и $X_2^* = 1,39$ ($R = \sqrt{(-0,036)^2 + (1,39)^2} = 1,391$).

Дисперсии при определении регрессионных коэффициентов связаны с остаточной дисперсией и константами ковариационной матрицы известными соотношениями [4, 7]. Ошибка предсказания значения критерия оптимизации

$$\delta = t_m \sqrt{S^2(y)}, \quad (8)$$

где t_m – табличное значение критерия Стьюдента ($t_m = 2,37$ при доверительной вероятности 0,95).

Результаты вычислений дисперсии предсказания $S^2(y)$ параметра оптимизации и его доверительного интервала $y \pm \delta$ (при доверительной вероятности 0,95) представлены в Таблице 5.

Таблица 5 – Доверительный интервал критерия оптимизации

Наименование показателя	Значение
Оптимальное значение критерия оптимизации y^* , см ³ /100 г	223,18
Дисперсия $S^2(y)$	0,67
Ошибка предсказания δ , см ³ /100 г	1,94
Доверительный интервал $y \pm \delta$, см ³ /100 г	223,18±1,94

Правильность выбора рациональных значений факторов подтверждалась серией параллельных экспериментов, показавших достаточную сходимость результатов.

Заключение

Методом статистического моделирования и оптимизации эксперимента получены уравнения регрессии зависимости удельного объема хлеба от дозировки рецептурных компонентов, определены

рациональные значения обогатителей – муки из отрубей гречишных и напитка сывороточного «Актуаль» для приготовления хлеба ахлоридного «Симфония». На новый продукт разработана техническая документация (ТУ 9290-437-02068108-2017).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарева Е. И. Практические рекомендации по совершенствованию технологии и ассортимента функциональных хлебобулочных изделий / Е.И. Пономарева, Н.М. Застрогина, Л.В. Шторх. Воронеж: ВГУИТ, 2014. 290 с.
2. Гречишные отруби – перспективное сырье для производства продуктов питания / Е. И. Пономарева, С. И. Лукина, Н. Н. Алехина и др. // Хлебопродукты. 2015. № 6. С. 42-43.
3. Брыкалов А. В. Исследование антиоксидантной активности напитков на основе молочной сыворотки / А.В. Брыкалов, Н.Ю. Пилипенко // Научный журнал КубГАУ. 2012. № 84(10). С. 1-8.
4. Моделирование и оптимизация технологических процессов пищевых производств. Практикум: учеб. пособие / Н. М. Дерканосова, А. А. Журавлев, И. А. Сорокина. Воронеж: ВГТА, 2011. 196 с.
5. Myers R.N., Montgomery D.C., Anderson-Cook C.M. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. Wiley (Wiley Series in Probability and Statistics), 2009. 680 p.
6. Optimization of technological parameters of preparation of dough for rusks of high nutrition value / Zhuravlev A. A., Lukina S. I., Ponomareva E. I., Roslyakova K. E. // Foods and Raw Materials. 2017. Vol. 5, No. 1. P. 73-81.
7. Грачев Ю.П. Математические методы планирования эксперимента / Ю.П. Грачев, Ю.М. Плаксин. М.: ДеЛи принт, 2005. 296 с.
8. Щипкова Н. Н. Аналитическая геометрия. Поверхности второго порядка: учеб. пособие / Н.Н. Щипкова, А. Р. Рустанов, С.В. Харитонов. Оренбург: ОГУ, 2013. 134 с.
9. Журавлев А.А. Приложение теории инвариантов к анализу экспериментальных данных активных экспериментов / А.А. Журавлев, С.И. Лукина, Е.И. Пономарева // Материалы IV Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство». Воронеж: ВГУИТ, 2017. С. 689-694.

E.I. Ponomareva, A.Y. Krivosheev, A.A. Zhuravlev, S.I. Lukina
**DEVELOPMENT OF THE RATIONAL COMPOSITION OF THE
AHLORIDNY BREAD BY THE METHOD OF STATISTICAL
MODELING**

*Voronezh State University of Engineering Technologies,
Voronezh, Russia*

The urgent line of development of the baking industry is the development of new formulations and resource-saving technologies of bread products for dietary nutrition. To create new types of a wide range of ahloridny products, it is preferable to use non-traditional raw materials of vegetable origin: whole-wheaten wheat flour, buckwheat and whey beverage flour "Actual". An important condition for obtaining products of consistently high quality and increasing production efficiency is the establishment of rational dosages of the formulation components in the preparation of the dough. Mathematical methods of planning of experiment are applied to study the interaction of the major technological factors influencing the process of preparation and the quality of bread products. The optimization of parameters of preparation of dough for ahloridny bread was performed using experimental and statistical methods. As a result of the performed experiment a mathematical model in the form of regression equation which adequately describes the studied process has been developed. The statistical processing of experimental data has been performed according to Student, Kokhren and Fischer criteria (with the confidential probability of 0.95). The graphic interpretation of regression equation has allowed to determine previously the optimum area of factorial space in which the highest value of output parameter is reached - the specific volume of bread. Rational values of factors have been determined: the dosage of flour from bran of greenschish is 4.87%, the whey drink "Actual" is 24.86% when making bread from a mixture of wheat flour of 1st grade and whole wheat seed in a ratio of 50:50. Their choice has been validated by a series of parallel experiments which has shown sufficient convergence of results with the average square error of no more than 0.67%. On the basis of the obtained data a formulation and a way of production ahloridny bread "Symphony".

Keywords: non-traditional types of raw materials, ahloridny bread, central composite rotatable uniform planning, optimization.

REFERENCES

1. Ponomareva E. I. Prakticheskie rekomendatsii po sovershenstvovaniyu tekhnologii i assortimenta funktsional'nykh khlebobulochnykh izdeliy / E.I. Ponomareva, N.M. Zastrogina, L.V. Shtorkh. Voronezh: VGUIT, 2014. 290s.
2. Grechishnye otrubi – perspektivnoe syr'e dlya proizvodstva produktov pitaniya / E. I. Ponomareva, S. I. Lukina, N. N. Alekhina i dr. // Khleboprodukty. 2015. No. 6. pp. 42-43.
3. Brykalov A. V. Issledovanie antioksidantnoy aktivnosti napitkov na osnove molochnoy syvorotki / A.V. Brykalov, N.Yu. Pilipenko // Nauchnyy zhurnal KubGAU. 2012. No.84(10). pp. 1-8.

4. Modelirovanie i optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov pishchevykh proizvodstv. Praktikum: ucheb. posobie / N. M. Derkanosova, A. A. Zhuravlev, I. A. Sorokina. Voronezh: VGTA, 2011. 196 p.
5. Myers R.N., Montgomery D.C., Anderson-Cook C.M. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. Wiley (Wiley Series in Probability and Statistics), 2009. 680 p.
6. Optimization of technological parameters of preparation of dough for rusks of high nutrition value / Zhuravlev A. A., Lukina S. I., Ponomareva E. I., Roslyakova K. E. // Foods and Raw Materials. 2017. Vol. 5, No. 1. R. 73-81.
7. Grachev Yu.P. Matematicheskie metody planirovaniya eksperimenta / Yu.P. Grachev, Yu.M. Plaksin. M.: DeLi print, 2005. 296 p.
8. Shchipkova N N. Analiticheskaya geometriya. Poverkhnosti vtorogo poryadka: ucheb. posobie / N.N. Shchipkova, A. R. Rustanov, S.V. Kharitonova. Orenburg: OGU, 2013. 134 p.
9. Zhuravlev A.A. Prilozhenie teorii invariantov k analizu eksperimental'nykh dannykh aktivnykh eksperimentov / A.A. Zhuravlev, S.I. Lukina, E.I. Ponomareva // Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoj konferentsii «Innovatsionnye tekhnologii v pishchevoy promyshlennosti: nauka, obrazovanie i proizvodstvo». Voronezh: VGUIT, 2017. pp. 689-694.