

Моделирование состава композиции хлебопекарного улучшителя направленного действия

Шмалько Наталья Анатольевна

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»

Адрес: 350072, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2, корп. «Г»

E-mail: kafedra-tith@yandex.ru

Моделирование состава композиции хлебопекарного улучшителя направленного действия является практической задачей специалистов отрасли хлебопекарного производства с целью прогнозирования качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. В основе метода моделирования положен принцип решения задачи регрессии посредством составления и реализации полного факторного эксперимента при изучении всех возможных комбинаций факторов с меньшей ошибкой, чем при традиционных методах исследования. Отбор компонентов, оказывающих наилучшее воздействие на совокупность показателей качества хлеба, с последующим составлением плана эксперимента моделирования рекомендуется осуществлять по результатам дисперсионного анализа серии пробных выпечек с вводом отдельных улучшителей и микроингредиентов. Важным этапом выполнения плана эксперимента является расчет программы оптимизации по линейному уравнению с целью определения оптимального сочетания компонентов в составе композиции хлебопекарного улучшителя. Дополнением к анализу может служить построение нейронных сетей для проведения регрессионного анализа с целью уточнения состава композиции хлебопекарного улучшителя. Комплексное решение задачи моделирования на основе априорной экспериментальной информации позволяет разработать рекомендации по совместному применению хлебопекарных улучшителей различной направленности и принципа действия.

Ключевые слова: моделирование, композиция, хлебопекарный улучшитель, планирование эксперимента, факторы, функция отклика

Введение

В современных условиях применение хлебопекарных улучшителей различной направленности и принципа действия является неотъемлемой составной частью технологий производства хлебобулочных изделий как средство прогнозирования и гарантирования их качества. Под термином «хлебопекарный улучшитель» понимается микроингредиент или комплексная добавка, которые самостоятельно в качестве пищевых продуктов не используются, не входят в обязательном порядке в состав рецептур хлебобулочных изделий, а применяются как вспомогательные технологические средства (Нечаев, 2006).

ГОСТ 32677-2014 «Изделия хлебобулочные. Термины и определения» (введ. 2015-05-01)¹ определяет хлебопекарный улучшитель как пищевую добавку, или комплексную пищевую добавку, или технологическое вспомогательное средство, улучшающие свойства теста и качество хлебобулочных изделий.

В связи с этим, хлебопекарные улучшители в состав рецептур хлебобулочных изделий вносят в случае их технологической необходимости и целесообразности, что обуславливается постановкой производственной задачи переработки сырья с различными хлебопекарными свойствами; проведением планирования и организации производства высококачественной продукции; разработкой ассортиментной политики выпускаемой продукции; внедрением новых способов тестоприготовления, включая интенсивные ускоренные технологии, технологии на замороженных и охлажденных полуфабрикатах, технологии хлебобулочных изделий с длительными сроками хранения и т.п. (Косован & Дремучева, 2003а; Косован & Дремучева, 2003б).

По принципу действия хлебопекарные улучшители подразделяют на отдельные хлебопекарные улучшители строго направленного действия, мультэнзимные композиции и комплексные хлебопекарные улучшители (Шлеленко, Поландова, & Дремучева, 2001). В состав хлебопекарных улучшителей вводят улучшители окислительно-восстановительного дей-

¹ ГОСТ 32677-2014. (2015). Изделия хлебобулочные. Термины и определения. М.: Стандартинформ.

ствия (Карчевская & Дремучева, 2002); ферментные препараты (альфа-амилаза, мальтогенная амилаза, ксиланаза, липаза, фосфолипаза, протеаза, глюкозо-оксидаза) (Матвеева, 2003; Patel, Ng, Hawkins, Pitts, & Chakrabarti-Bell, 2012; Бобышев & Матвеева, 2014; Дремучева и др., 2017; Дремучева, Невский, Стрельникова, & Цурикова, 2017; Melis, Morales, & Delcour, 2019); модифицированные крахмалы (Китаевская, 2016); пищевые эмульгаторы или поверхностно-активные вещества (Moayedallaie, Mirzaei, & Paterson, 2012); сухую пшеничную клейковину (Зюзько, Коростова, & Бондаренко, 2011); добавки консервирующего действия (Травкина & Егорова, 2016) и другие пищевые добавки, разрешенные к использованию в хлебопекарном производстве.

Для решения практических задач научной школой отечественных ученых и исследователей разработаны теоретические основы формирования композиционных составов и применения отдельных и комплексных хлебопекарных улучшителей, различающихся в зависимости от следующих технологических факторов: переработки муки с пониженными хлебопекарными свойствами (при пониженном содержании клейковины, слабой или чрезмерно крепкой клейковиной, пониженной автолитической активностью) (Дремучева & Карчевская, 2000; Мартыанова & Мелешкина, 2002а; Мартыанова & Мелешкина, 2002б; Носова и др., 2019); ассортимента массовых сортов хлебобулочных изделий (хлеба из сортовой пшеничной муки, булочных, сдобных и слоеных хлебобулочных изделий и др.); предотвращения заболевания хлеба «картофельной болезнью»; способов тестоприготовления (для непрерывных технологий, ускоренных способов, дискретных технологий замороженных и охлажденных полуфабрикатов) (Косован & Дремучева, 2003б; Дремучева и др., 2017; Дремучева & Носова, 2019); способов замедления черствения и сохранения свежести хлебобулочными изделиями (Носова & Дремучева, 2020).

В зарубежной литературе обсуждаются вопросы влияния добавления экзогенных ферментных препаратов на активность эндогенных ферментов муки, замены химических улучшителей ферментами микробного происхождения, их комбинаций и эффектов (Dahiya et al, 2020). Составы композиций улучшителей направленного действия разрабатываются с учетом синергизма компонентов и отсутствия инактивирующего действия, сохранности их активности и технологического эффекта при длительном хранении, уточнении дисперсного состава, при выборе технологичности при дозировании и др. (Barrera, Tadini, León, & Ribotta, 2016; Lončar, Filipović, V. S., & Filipović, J. S., 2016;

Bilyk, Bondarenko, Kochubei-Lytvynenko, Khalikova, & Fain, 2019; Matsushita et al, 2020).

Добавки, вводимые в состав композиции хлебопекарного улучшителя, выбирают исходя из его назначения. Для компонентов улучшителей, которых специалисты называют «активной частью» (за исключением эмульгаторов, сухой пшеничной клейковины, ферментативно-активного сырья, к которому относятся, в частности солод и соевая мука), дозировка колеблется в широких пределах (от десяти-тысячных до сотых долей процента от массы муки), основная же часть в улучшителях приходится на наполнители (Zhygunov, Mardar, & Kovalyova, 2018).

Количество «активной части» определяется преимущественно технологической эффективностью улучшителя, когда вводимый компонент ниже или выше какого-то количества не оказывает эффекта или ухудшает параметры. Однако часто довольно трудно с достоверностью установить конкретные причины, которыми в каждом отдельном случае обуславливается качество получаемых полуфабрикатов и готовой продукции (Awan, Pasha, & Huma, 2003). В связи с этим, рекомендуется осуществлять планирование эксперимента путем проведения рациональной организации измерений, подверженных случайным влияниям и направленных на оптимизацию решений задач эксперимента (Грачев & Плаксин, 2005; Ghorbel, Kamoun, Neifar, & Chaabouni, 2010).

В практике математического моделирования линейное приближение поверхности отклика может быть адекватно эксперименту только при небольших интервалах варьирования (Shivapour, Yousefi, Mahdi, Ardabili, & Weisany, 2020), что соответствует поставленной в хлебопекарном производстве задаче получения составов композиции комплексного улучшителя с заданным содержанием отдельных улучшителей и микроингредиентов. Планирование эксперимента для оптимизации состава композиции хлебопекарного улучшителя позволяет варьировать все факторы и получать количественные оценки основных эффектов и эффектов взаимодействия при определении изучаемых эффектов с меньшей ошибкой (Matsushita, Terayama, Goshima, Myoda, & Yamauchi, 2019).

В хлебопекарной промышленности рациональная организация измерений осуществляется посредством проведения серии пробных выпечек при варьировании состава рецептур с целью выявления оптимальной рецептуры, при выпечке которой получается продукт наивысшего качества. Пробная выпечка для сопоставления качества хлеба, получаемого при использовании различных ре-

цептур и технологических схем, проводится на одной и той же пробе муки при последовательном варьировании изучаемых факторов.

Поставленной в данном исследовании задаче изучения комплексного влияния улучшителей на качество хлеба соответствует выбор компонентов композиции, проявляющих свойства технологических средств интенсификации производственного процесса, регулирования реологических и бродильных свойств полуфабриката и улучшения органолептических и физико-химических показателей качества хлебобулочных изделий при переработке хлебопекарной муки с различными свойствами (МГУПП «Пищепромпродукт»²; Прейскурантиздат³).

Предметом изучения данного исследования явилось определение совместного сочетания факторов (предикторов) – дозировок компонентов в композиции хлебопекарного улучшителя направленного действия с целью оптимизации отклика (объемного выхода хлеба) путем расчета программы оптимизации при помощи процедуры Бокса-Уилсона с последующим моделированием поверхности отклика методом построения искусственных нейронных сетей для решения задачи регрессии и их обучения в программе STATISTICA 7.0 Eng (Боровиков, 2008).

Целью данной работы явилось моделирование состава композиции хлебопекарного улучшителя направленного действия по схеме проведения двухуровневого полного факторного эксперимента ПФЭ 2n на основе полученной ранее априорной экспериментальной информации путем изучения влияния дозировок отдельных улучшителей и микроингредиентов на качество хлебобулочных изделий.

Программа описанного в статье эксперимента автором производилась в рамках выполнения инициативного исследования по теме гранта РФФИ 08-08-99093 «Теоретические основы и практическая реализация новых технологий хлебобулочных изделий диетического, лечебно-профилактического и функционального назначения на основе использования продуктов переработки семян амаранта» в 2008-2009 гг. (Шмалько & Росляков, 2011).

Материалы и методы исследования

Материалы

При проведении серии пробных выпечек в качестве отдельных улучшителей, наполнителей и микроингредиентов применялись мука пшеничная хлебопекарная по ГОСТ 26574-2017⁴, мука амарантовая цельносмолотая полножирная по ТУ 9293-026-02067862-2001, аскорбиновая кислота по ФС 42-2668, ферментные препараты фирмы «Новозаимс» (Дания): Фунгамил Супер АХ, Фунгамил 2500 ВГ, Новамил 1500 МГ, Пентопан моно ВГ, Новозим 677 ВГ, Глюзим 500 ВГ – по сертификату РФ.

Качество пробы используемой в исследовании пшеничной хлебопекарной муки соответствовала требованиям стандарта: влажность 13 %, зольность в пересчете на сухое вещество 0,75 %, число падения 230 с, содержание сырой клейковины 31,6 %, качество сырой клейковины на приборе ИДК 76 ед., титруемая кислотность 3,5 град. Характеристика ферментативной активности амарантовой цельносмолотой полножирной муки в сравнении с хлебопекарной мукой приведена в Таблице 1 (Шмалько & Росляков, 2011), дозировки ферментных препаратов и технологический эффект при изготовлении хлебобулочных изделий из пшеничной муки приведены в отраслевой инструкции (МГУПП «Пищепромпродукт»⁵).

Оборудование

Замес теста производился на лабораторной тестомесильной машине, его брожение в металлической емкости при температуре 32-34 °С в термостате в течение 150 мин, при проведении обминки через каждый час. По истечении брожения тесто взвешивалось и разделялось на тестовые заготовки заданной массы: 400 г для образцов формового хлеба, 200 г для образцов подового хлеба. Расстойка тестовых заготовок проводилась в расстойном шкафу с пароувлажнением при температуре 35-37 °С до готовности. Выпечка хлеба осуществлялась в хлебопекарной лабораторной односекционной печи при температуре 200-220 °С в течение 35-30 мин для образцов формового хлеба, 25-20 мин для образцов подового хлеба с пароувлажнением при посадке тестовых заготовок в печь.

² Технологическая инструкция по применению ферментных препаратов фирмы «Ново Нордикс» (Дания) при производстве хлебобулочных изделий из ржаной, смеси ржаной и пшеничной, пшеничной муки (1999). М.: МГУПП. Пищепромпродукт.

³ Сборник технологических инструкций для производства хлебобулочных изделий (1989). М.: Прейскурантиздат.

⁴ ГОСТ 26574-2017. (2018). Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. М.: Стандартинформ.

⁵ Технологическая инструкция по применению ферментных препаратов фирмы «Ново Нордикс» (Дания) при производстве хлебобулочных изделий из ржаной, смеси ржаной и пшеничной, пшеничной муки (1999). М.: МГУПП. Пищепромпродукт.

Таблица 1

Характеристика ферментативной активности амарантовой полножирной муки в сравнении с хлебопекарной мукой

Характеристика ферментативной активности	Объекты исследования			
	мука пшеничная		мука ржаная обдирная	мука амарантовая цельносмолотая
	высшего сорта	первого сорта		
1	2	3	4	5
Суммарная активность протеолитических изоферментов (по приросту азота в водно-мучной суспензии в ходе автолиза при 40 °С, мг):				
при pH 4,6				
при pH 7,0	0,14	0,65	0,81	0,21
	0,07	0,22	0,16	0,01
Активность липазы в мл спиртового раствора щелочи, пошедшего на нейтрализацию жирных кислот:				
кислой	1,6	1,2	0,5	2,4
щелочной	1,7	1,6	0,8	4,1
Активность липоксигеназы по оптической плотности субстрата за 20 мин реакции $D \times 10^{-3}$ (по Дубцову, Попову, 1970)				
	8,0	5,0	3,0	10,0
Автолитическая активность по количеству водорастворимых веществ в муке, % в пересчете на сухое вещество				
	15,79	23,70	53,86	31,45
Число падения, с	393	414	150	86
Активность амилолитических ферментов в мг гидролизованного крахмала за 60 мин выстойки:				
суммарная				
альфа-милазы	28,39	32,09	44,76	21,07
бета-амилазы	2,35	2,86	19,90	1,65
	26,04	29,23	24,86	19,42

Методы

По результатам серии пробных выпечек с вводом отдельных улучшителей и микроингредиентов осуществлялся отбор компонентов, оказывающих наилучшее воздействие на совокупность показателей качества хлеба, с последующим составлением плана эксперимента моделирования состава композиции хлебопекарного улучшителя. Выбор сравниваемых компонентов композиции хлебопекарного улучшителя направленного действия

проводился путем оценки основных эффектов и эффектов взаимодействия плана эксперимента при определении изучаемых эффектов с наименьшей ошибкой (Грачев & Плаксин, 2005).

Пробные лабораторные выпечки хлеба проводились при безопасном способе приготовления теста⁶. Добавки улучшителя и ферментативно-активного сырья (аскорбиновая кислота, мука амарантовая цельносмолотая полножирная) вносились при замесе теста в сухом виде в смеси с пшеничной мукой.

⁶ Пучкова, Л. И. (2004). Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства (4-е изд.). СПб.: ГИОРД.

Ферментные препараты вводились в виде водных растворов температурой 25-28 °С при соотношении 1 : 10 без смешивания в технологической жидкости (дрожжевой суспензии или солевом растворе).

В качестве факторов, влияющих на качество хлеба – его объемный выход y (см³ на 100 г хлеба), были выбраны следующие параметры: x_1 – дозировка наполнителя (мука пшеничная хлебопекарная первого сорта), %; x_2 – дозировка ферментативно-активного сырья (мука амарантовая цельнозерновая полнозерновая), %; x_3 – дозировка активатора брожения (аммоний фосфорнокислый двузамещенный), %; x_4 – дозировка окислителя (аскорбиновая кислота), %; x_5 – дозировка ферментного препарата грибного происхождения (Фунгамил Супер АХ), %; x_6 – дозировка ферментного препарата бактериального происхождения (Новамил 1500 МГ), %; x_7 – соотношение ферментных препаратов грибного и бактериального происхождения (Фунгамил Супер АХ и Новамил 1500 МГ).

Для выпеченных образцов хлеба оценивались следующие показатели качества: удельный объем для образцов формового хлеба и формоустойчивость образцов подового хлеба по методике МТИПП, влажность – по ГОСТ 21094-75⁷, кислотность – по ГОСТ 5670-96⁸, пористость – по ГОСТ 5669-96⁹, общая, упругая и пластическая деформация мякиша на пенетрометре АП-4/2, суммарная балльная оценка качества хлеба – по методике МТИПП.

В исходной матрице планирования эксперимента уровни планирования факторов (амарантовая мука, активатор брожения, ферментные препараты), представленные в натуральной величине в Таблице 2, взяты с учетом данных патентной литературы (Чижикова, 2002; Росляков и др., 2008), а переменные в матрице, указанные в Таблице 3, кодированы по формуле:

$$X_i = (2(x_i - \bar{x})) / (x_{i\max} - x_{i\min}). \quad (1)$$

Математическая модель по каждой функции отклика для плана ПФЭ 2⁷ имела вид линейного уравнения регрессии

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_5 \cdot x_5 + b_6 \cdot x_6 + b_7 \cdot x_7. \quad (2)$$

В каждой строчке матрицы планирования определялось среднее значение измеряемой величины по m параллельным опытам

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{u=1}^m y_{iu}}{m}, i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

и величина дисперсии

$$S_i^2 = \frac{\sum_{u=1}^m (y_{iu} - \bar{y}_i)^2}{m - 1}, i = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

Однородность выборочных дисперсий проверялась по критерию Кохрена, для чего составлялось отношение:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2}. \quad (5)$$

Полученные отношения сравнивались с табличным значением критерия Кохрена: $G_{\text{кр}}(f_1, f_2)$, где $P = 0,05$; $f_1 = m - 1$; $f_2 = N$ для установления однородности рассчитываемых дисперсий. Дисперсия воспроизводимости вычислялась как среднее арифметическое по формуле

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N}. \quad (6)$$

Число степеней свободы дисперсии рассчитывалось по формуле

$$f_{\text{воспр}} = N \times (m - 1) \quad (7)$$

Коэффициенты уравнения регрессии определялись при использовании данных матрицы планирования эксперимента из Таблицы 2.

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} \bar{y}_{ji}}{N}. \quad (8)$$

Учитывая, что дисперсия \bar{y} , полученного по выборке объема m , в m раз меньше дисперсии единичного измерения, производились вычисления:

$$S_y^2 = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{m}. \quad (9)$$

Дисперсия коэффициентов определялась следующим образом

$$S_{(b_j)}^2 = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{N \times m}. \quad (10)$$

⁷ ГОСТ 21094-75. (2013). Хлеб и хлебобулочные изделия. Метод определения влажности. М.: Стандартинформ.

⁸ ГОСТ 5670-96. (1996). Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.

⁹ ГОСТ 5669-96. (1996). Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.

Таблица 2

Пределы измерения факторов в натуральной величине (от суммарной массы всех компонентов улучшителя)

Уровни планирования	Факторы, %						
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
1	2	3	4	5	6	7	8
Основной уровень (x_i)	45,0	45,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
Интервал варьирования (Δx)	5,0	5,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Верхний уровень (x_{iv})	95,0	95,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,6
Нижний уровень (x_{in})	5,0	5,0	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2

Таблица 3

Исходная матрица планирования эксперимента

Номер опыта	Факторы кодированные (в безразмерной системе координат)								y_1	y_2		
	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	+	–	+	–	+	–	+	–	338	346	342	32
2	+	+	+	–	–	+	–	–	424	419	422	13
3	+	–	–	–	–	+	+	+	327	316	322	51
4	+	+	–	–	+	–	–	+	353	380	367	365
5	+	–	+	+	–	–	–	+	406	377	392	421
6	+	+	+	+	+	+	+	+	394	428	411	578
7	+	–	–	+	+	+	–	–	360	373	367	85
8	+	+	–	+	–	–	+	–	416	427	422	51

Значимость коэффициентов проверялась по критерию Стьюдента: в условиях нулевой гипотезы $H^0\beta_j = 0$ отношение абсолютной величины коэффициента уравнения регрессии к его ошибке имеет распределение Стьюдента, и для всех коэффициентов уравнений регрессии составлялось t -отношение

$$t_j = \frac{|b_j|}{s_{b_j}}, \quad (11)$$

которое сравнивалось с табличным t_{1-p} (f) для уровня значимости $p = 0,05$ и числа степеней свободы $f = N \times (m - 1)$

Ошибка коэффициентов определялась по формуле

$$s_{b_j} = \sqrt{\frac{S_{aocnp}^2}{N \times m}}. \quad (12)$$

После исключения незначимых коэффициентов уравнения регрессии проверялась адекватность уравнения регрессии эксперименту по критерию Фишера, для чего составлялось дисперсионное отношение

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{aocnp}^2}, \quad (13)$$

где S_{ad}^2 – дисперсия адекватности, определяемая по формуле

$$S_{ad}^2 = \frac{m \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{N - l}, \quad (14)$$

где l – число значимых коэффициентов в уравнении регрессии.

Если полученное дисперсионное отношение оказывается меньше табличного, то полученное уравнение адекватно описывает эксперимент:

$$F < F_{1-p}(f_1, f_2) \quad (15)$$

где p – уровень значимости;

f_1 – число степеней свободы дисперсии адекватности: $f_1 = N - l$,

f_2 – число степеней свободы дисперсии воспроизводимости: $f_2 = N \times (m - 1)$, то уравнение адекватно эксперименту.

Для проверки работоспособности полученного линейного уравнения дополнительно к плану ставился опыт в центре эксперимента в нескольких повторностях с последующей оценкой суммарного квадратичного эффекта факторов по формуле

$$|\bar{y}_0 - b_0| = \sum_{i=1}^n b_{ii}. \quad (16)$$

При условии значимости указанной разности при заданной p необходимо осуществлять переход к решению плана второго порядка для получения квадратичного уравнения, отсюда значимость разности $|\bar{y}_0 - b_0|$ устанавливалась при помощи доверительной ошибки этой разности и сравнения ее с величиной самой разности

$$\varepsilon(\bar{y}_0 - b_0) = t(p; f) \cdot S(\bar{y}_0 - b_0), \quad (17)$$

где $t(p; f)$ критерий Стьюдента.

Процедура данной проверки основывалась на дисперсионном анализе путем расчета среднеарифметической оценки дополнительного опыта в центре эксперимента, оценки дисперсии с числом степеней свободы $f_0 = m_0 - 1$, оценки дисперсии среднего результата, полученного в центре плана в соответствии с теоремой о дисперсии среднего, оценки дисперсии коэффициента b_0 , средневзвешенной оценки дисперсии единичного результата (Грачев, Плаксин, 2005).

В случае, если наблюдают $\varepsilon(\bar{y}_0 - b_0) < (\bar{y}_0 - b_0)$ (18), то с заданной вероятностью p указанную разницу считают значимой, что равносильно доказательству необходимости включения в уравнение оценок квадратичных эффектов факторов и получения уравнения квадратичной функции. Напротив, если наблюдают $(\bar{y}_0 - b_0) < t(p; f) \cdot S(\bar{y}_0 - b_0)$ (19), то квадратичные эффекты в уравнение вносить не следует и при доказанной адекватности с помощью критерия Фишера полученную математическую модель можно считать работоспособной.

Процедура исследования

Первый этап исследований предусматривал проведение математического планирования полного факторного эксперимента ПФЭ 2^n при проверке результатов расчетов в прикладном пакете Statistica 7.0 Eng. Второй этап исследований включал расчет программы оптимизации по линейному уравнению с помощью процедуры Бокса-Уилсона с

целью определения оптимального сочетания компонентов в составе композиции хлебопекарного улучшителя при приближении уравнения к околооптимальной области (Грачев, Плаксин, 2005).

Оценка линейных эффектов факторов производилась для линейного уравнения с учетом изменения i -той координаты последующего опыта по сравнению с координатой предыдущего

$$\Delta x_1 : \Delta x_2 : \Delta x_3 \dots = b_1 : b_2 : b_3 : \dots \quad (20)$$

Условия опытов программы оптимизации в безразмерном выражении и натуральной размерности факторов рассчитывались по формулам

$$x_{iu} = x_{i0} + u \Delta x_i; \quad (21)$$

$$C_{iu} = C_{i0} + u \lambda_i x_{iu}, \quad (22)$$

где $u = 0 : N$ – номер опыта программы оптимизации.

Для компьютерной реализации программы оптимизации плана эксперимента применялся нейросетевой подход. Решение задачи регрессии при построении нейронной сети в модуле *Neural Networks* в программе STATISTICA 7.0 Eng осуществлялось путем выбора начальной конфигурации сети посредством автоматического конструктора *Intelligent Problem Solver*, в котором алгоритм обучения многослойных перцептронов (MLP) предусматривается производить методом спуска по сопряженным градиентам в варианте с ранней остановкой обучения. Способ обучения нейронной сети относится к алгоритму обратного распространения, вычисляющему вектор градиента поверхности ошибок, указывающий направление кратчайшего спуска по поверхности из заданной точки, при движении по которому ошибка обучения уменьшается пошагово.

На этапе эксперимента с различными конфигурациями сети посредством конструктора *Custom Network Designer*, целью которого явилось получение лучшего результата контрольной ошибки для тестируемой выборки входных данных (для исключения попадания в процессе обучения в локальный минимум), значение ошибки и градиента поверхности ошибок использовались для корректировки весов. Выбор конфигурации сети с наилучшими результатами обучения производился путем анализа результатов их пошагового обучения различными алгоритмами с целью достижения статистической достоверности результатов вычисления: обратного и быстрого распростра-

нения, спуска по сопряженным градиентам и др. (Боровиков, 2008).

Анализ данных

Статистическая обработка результатов исследований производилась с помощью прикладного пакета MS Excel 2007 при проведении дисперсионного анализа для оценки влияния различных дозровок отдельного улучшителя на показатели качества хлеба путем исследования количественного признака (зависимой переменной) от нескольких качественных признаков (факторов). Для проведения однофакторного дисперсионного анализа опытные данные результатов выпечек хлеба представлялись в виде таблиц, столбы и строки которых отражали различные уровни фактора, а в ячейках таблицы располагались значения анализируемого признака (зависимой переменной), задавая факторный план эксперимента. Проверка нулевой гипотезы сводилась к проверке существенности различия MS эффекта и MS ошибки, которые являются оценками дисперсии σ^2 , при помощи *F*-критерия¹⁰.

Результаты и их обсуждение

Оценка влияния отдельных улучшителей и микронутриентов на показатели качества хлеба при проведении серии пробных выпечек (Таблицы 4а-11а)

показала, что среди изученных вариантов наилучшими характеристиками качества отличались образцы при введении в рецептуру изделий ферментных препаратов Фунгамил Супер АХ (89 баллов) и Новамил 1500 МG (89 баллов) для формового хлеба, амарантовой цельносмолотой полножирной муки (90,5 баллов), ферментного препарата Пентопан моно ВG (88 баллов) и окислителя аскорбиновой кислоты (88,5 баллов) для подового хлеба.

Данные Таблицы 4а показывают, что ввод аскорбиновой кислоты в рецептуру хлеба в дозировках 0,003-0,011 % (т.е в рекомендуемом количестве окислителя при растяжимости клейковины муки в пределах 13-20 см) приводил к повышению удельного объема образцов формового хлеба, формоустойчивости образцов подового хлеба, пористости и упругости мякиша, что отразилось на увеличении суммарной балльной оценки качества.

Данные Таблицы 4б отражают значительное повышение изменчивости (вариации), наблюдаемое между группами (показателями качества в Таблице 4а) при повышении дозировки аскорбиновой кислоты, что доказывается проверкой нулевой гипотезы при выявлении существенности различия MS эффекта и MS ошибки с учетом оценки дисперсии σ^2 при помощи *F*-критерия (критерия Фишера).

Данные Таблицы 5а показывают, что ввод ферментного препарата Фунгамил Супер АХ в ре-

Таблица 4а
Влияние аскорбиновой кислоты на качество хлеба

Показатели качества	Контроль	Дозировка улучшителя к массе пшеничной муки, %				
		0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
1	2	3	4	5	6	7
Удельный объем формового хлеба, см ³ / 100 г	247	306	307	314	327	328
Формоустойчивость (<i>H</i> : <i>D</i>)	0,44	0,54	0,60	0,63	0,64	0,65
Кислотность мякиша, град	2,6	2,6	2,6	2,7	2,8	2,8
Влажность мякиша, %	42,0	41,2	41,2	41,7	41,8	42,0
Пористость мякиша, %	71	73	73	73	74	74
Структурно-механические свойства мякиша, ед. пр. АП-4/2:						
$\Delta H_{\text{общ}}$	44	54	57	60	64	67
$\Delta H_{\text{пл}}$	26	36	37	38	40	42
$\Delta H_{\text{упр}}$	18	18	20	22	24	25
Балльная оценка, балл	78,0	86,0	86,0	87,0	88,0	88,5

¹⁰ Халафян, А. А. (2017). *STATISTICA 6. Статистический анализ данных: Учебник* (3-е изд.). М.: Бином-Пресс.

Таблица 46

Дисперсионный анализ влияния окислителя на качество хлеба

Источник вариации	SS	df	MS	F	p-значение	Fкрит
1	2	3	4	5	6	7
Между группами	415242,38	8	51905,30	460,02	p < 0,01	2,15
Внутри групп	5077,46	45	112,83			
Итого	420319,84	53				

цептуру хлеба в дозировках 0,003-0,011 % (т.е. в рекомендуемом количестве ферментного препарата при переработке муки с клейковиной средней по силе) приводил к значительному повышению удельного объема образцов формового хлеба, улучшению пористости и упругости мякиша при одновременном снижении формоустойчивости образцов подового хлеба, что отразилось на величине суммарной балльной оценки качества.

Данные Таблицы 5б отражают заметное повышение изменчивости (вариации), наблюдаемое между группами (показателями качества в таблице 5а) при повышении дозировки ферментного препарата, что доказывается проверкой нулевой гипотезы при выявлении существенности различия MS эффекта и MS ошибки с учетом оценки дисперсии σ^2 при помощи критерия Фишера.

Таблица 5а

Влияние ферментного препарата Фунгамил Супер АХ на качество хлеба

Показатели качества	Контроль	Дозировка улучшителя к массе пшеничной муки, %				
		0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
1	2	3	4	5	6	7
Удельный объем формового хлеба, см ³ / 100 г	247	329	350	356	358	360
Формоустойчивость (Н : D)	0,44	0,43	0,41	0,40	0,38	0,36
Кислотность мякиша, град	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8
Влажность мякиша, %	42,0	42,8	43,0	43,4	43,5	44,0
Пористость мякиша, %	71	74	74	76	77	78
Структурно-механические свойства мякиша, ед. пр. АП-4/2:						
ΔНобщ	44	54	69	76	82	80
ΔНпл	26	34	47	52	55	60
ΔНупр	18	20	22	24	27	28
Балльная оценка, балл	78,0	87,5	88,0	88,5	89,5	89,0

Таблица 5б

Дисперсионный анализ влияния ферментного препарата Фунгамил Супер АХ на качество хлеба

Источник вариации	SS	df	MS	F	p-значение	Fкрит
1	2	3	4	5	6	7
Между группами	493270,78	8	61717,60	234,93	p < 0,01	2,15
Внутри групп	11821,78	45	262,71			
Итого	505092,56	53				

Таблица 6а

Влияние ферментного препарата Фунгамил 2500 BG на качество

Показатели качества	Контроль	Дозировка улучшителя к массе пшеничной муки, %				
		0,0001	0,00015	0,0002	0,00025	0,0003
1	2	3	4	5	6	7
Удельный объем формового хлеба, см ³ / 100 г	247	285	318	324	326	339
Формоустойчивость (<i>H</i> : <i>D</i>)	0,44	0,43	0,41	0,40	0,37	0,35
Кислотность мякиша, град	2,6	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8
Влажность мякиша, %	42,0	42,0	42,1	42,2	42,4	42,4
Пористость мякиша, %	71	72	73	74	74	75
Структурно-механические свойства мякиша, ед. пр. АП-4/2:						
$\Delta N_{\text{общ}}$	44	57	66	69	78	83
$\Delta N_{\text{пл}}$	26	39	46	47	50	54
$\Delta N_{\text{упр}}$	18	18	20	22	28	29
Балльная оценка, балл	78,0	85,0	86,6	85,8	85,4	85,3

Таблица 6б

Дисперсионный анализ влияния ферментного препарата Фунгамил 2500 BG на качество хлеба

Источник вариации	SS	df	MS	F	p-значение	Fкрит
1	2	3	4	5	6	7
Между группами	415427,47	8	51928,43	309,01	p < 0,01	2,15
Внутри групп	7562,12	45	168,05			
Итого	422989,59	53				

Данные Таблицы 6а показывают, что ввод ферментного препарата Фунгамил 2500 BG в рецептуру хлеба в дозировках 0,0001-0,0003 % (т.е. в рекомендуемом количестве ферментного препарата при переработке муки с клейковиной средней по силе, нормальной автолитической и газообразующей способностью) приводил к значительному повышению удельного объема образцов формового хлеба, улучшению пористости и упругости мякиша при наблюдаемом снижении формоустойчивости образцов подового хлеба, что отразилось на величине суммарной балльной оценки качества.

Данные Таблицы 6б показывают заметное повышение изменчивости (вариации), наблюдаемое между группами (показателями качества в Таблице 6а) при увеличении дозировки ферментного препарата, что доказывается проверкой нулевой гипотезы при выявлении существенности различия MS эффекта и MS ошибки с учетом

оценки дисперсии σ^2 при помощи критерия Фишера.

Данные Таблицы 7а показывают, что ввод ферментного препарата Новамил 1500 MG в рецептуру хлеба в дозировках 0,01-0,02 % (т.е. в рекомендуемом количестве ферментного препарата при переработке муки с клейковиной любого качества) приводил к заметному повышению удельного объема образцов формового хлеба, улучшению пористости и упругости мякиша при наблюдаемом снижении формоустойчивости образцов подового хлеба, что отразилось на величине суммарной балльной оценки качества.

Данные Таблицы 7б показывают значительное повышение изменчивости (вариации), наблюдаемое между группами (показателями качества в Таблице 7а) при повышении дозировки ферментного препарата, что доказывается проверкой нулевой гипотезы при выявлении существенности

Таблица 7а

Влияние ферментного препарата Новамил 1500 MG на качество хлеба

Показатели качества	Контроль	Дозировка улучшителя к массе пшеничной муки, %				
		0,010	0,012	0,015	0,018	0,020
1	2	3	4	5	6	7
Удельный объем формового хлеба, см ³ / 100 г	247	276	283	285	296	311
Формоустойчивость (<i>H : D</i>)	0,44	0,43	0,41	0,40	0,38	0,37
Кислотность мякиша, град	2,6	2,6	2,6	2,8	2,8	2,8
Влажность мякиша, %	42,0	42,2	42,3	42,6	42,6	42,8
Пористость мякиша, %	71	74	75	76	77	77
Структурно-механические свойства мякиша, ед. пр. АП-4/2:						
$\Delta H_{\text{общ}}$	44	68	72	76	79	81
$\Delta H_{\text{пл}}$	26	48	50	52	53	54
$\Delta H_{\text{упр}}$	18	20	22	24	26	27
Балльная оценка, балл	78,0	84,0	85,5	87,0	88,0	88,0

Таблица 7б

Дисперсионный анализ влияния ферментного препарата Новамил 1500 MG на качество хлеба

Источник вариации	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i> -значение	<i>F</i> _{крит}
1	2	3	4	5	6	7
Между группами	351005,64	8	43875,71	500,56	<i>p</i> < 0,01	2,15
Внутри групп	3944,39	45	87,65			
Итого	354950,03	53				

Таблица 8а

Влияние ферментного препарата Пентопан моно BG на качество хлеба

Показатели качества	Контроль	Дозировка улучшителя к массе пшеничной муки, %				
		0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
1	2	3	4	5	6	7
Удельный объем формового хлеба, см ³ / 100 г	247	303	306	325	328	329
Формоустойчивость (<i>H : D</i>)	0,44	0,44	0,45	0,46	0,48	0,50
Кислотность мякиша, град	2,6	2,4	2,6	2,6	2,6	2,7
Влажность мякиша, %	42,0	43,0	43,4	43,7	43,9	44,0
Пористость мякиша, %	71	72	73	73	74	74
Структурно-механические свойства мякиша, ед. пр. АП-4/2:						
$\Delta H_{\text{общ}}$	44	47	49	52	56	59
$\Delta H_{\text{пл}}$	26	29	29	30	33	34
$\Delta H_{\text{упр}}$	18	18	20	22	23	25
Балльная оценка, балл	78,0	81,9	85,7	87,5	87,5	88,0

Таблица 86

Дисперсионный анализ влияния ферментного препарата Пентопан моно BG на качество хлеба

Источник вариации	SS	df	MS	F	p-значение	Fкрит
1	2	3	4	5	6	7
Между группами	422880,88	8	52860,11	457,89	p < 0,01	2,15
Внутри групп	5194,95	45	115,44			
Итого	428075,83	53				

различия MS эффекта и MS ошибки с учетом оценки дисперсии σ^2 при помощи критерия Фишера.

ристости и упругости мякиша, что отразилось на величине суммарной балльной оценки качества.

Данные Таблицы 8а показывают, что ввод ферментного препарата Пентопан моно BG в рецептуру хлеба в дозировках 0,003-0,011 % (т.е. в рекомендуемом количестве ферментного препарата при переработке муки с клейковиной любого качества) приводил к повышению удельного объема образцов формового хлеба и формоустойчивости образцов подового хлеба, улучшению по-

Данные Таблицы 8б показывают значительное повышение изменчивости (вариации), наблюдаемое между группами (показателями качества в Таблице 8а) при повышении дозировки ферментного препарата, что доказывается проверкой нулевой гипотезы при выявлении существенности различия MS эффекта и MS ошибки с учетом оценки дисперсии σ^2 при помощи критерия Фишера.

Таблица 9а

Влияние ферментного препарата Новозим 677 BG на качество хлеба

Показатели качества	Контроль	Дозировка улучшителя к массе пшеничной муки, %				
		0,001	0,0015	0,002	0,0025	0,003
1	2	3	4	5	6	7
Удельный объем формового хлеба, см ³ / 100 г	247	269	275	280	285	286
Формоустойчивость (H : D)	0,44	0,46	0,50	0,54	0,56	0,59
Кислотность мякиша, град	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,8
Влажность мякиша, %	42,0	42,0	42,1	42,2	42,4	42,8
Пористость мякиша, %	71	72	73	73	73	74
Структурно-механические свойства мякиша, ед. пр. АП-4/2:						
$\Delta H_{\text{общ}}$	44	60	62	68	70	79
$\Delta H_{\text{пл}}$	26	42	43	47	48	56
$\Delta H_{\text{упр}}$	18	18	19	21	22	23
Балльная оценка, балл	78,0	81,5	81,5	84,5	82,5	80,0

Таблица 9б

Дисперсионный анализ влияния ферментного препарата Новозим 677 BG на качество хлеба

Источник вариации	SS	df	MS	F	p-значение	Fкрит
1	2	3	4	5	6	7
Между группами	329218,06	8	41152,26	804,27	p < 0,01	2,15
Внутри групп	2302,53	45	51,17			
Итого	331520,59	53				

Данные Таблицы 9а показывают, что ввод ферментного препарата Новозим 677 BG в рецептуру хлеба в дозировках 0,001-0,003 % (т.е. в рекомендуемом количестве ферментного препарата при выработке широкого ассортимента хлеба и булочных изделий) приводил к заметному повышению формоустойчивости образцов подового хлеба, улучшению пористости и упругости мякиша при незначительном росте удельного объема образцов формового хлеба, что отразилось на величине суммарной балльной оценки качества.

Данные Таблицы 9б показывают очень большое повышение изменчивости (вариации), наблюдаемое между группами (показателями качества в Таблице 9а) при повышении дозировки ферментного препарата, что доказывается проверкой нулевой гипотезы при выявлении существенности различия MS эффекта и MS ошибки с учетом оценки дисперсии σ^2 при помощи критерия Фишера.

Данные Таблицы 10а показывают, что ввод ферментного препарата Глюзим 500 BG в рецептуру хлеба в дозировках 0,003-0,014 % (т.е. в рекомендуемом количестве ферментного препарата при выработке ассортимента булочных и сдобных изделий) приводил к заметному повышению формоустойчивости образцов подового хлеба, улучшению пористости и упругости мякиша при незначительном росте удельного объема образцов формового хлеба, что отразился на величине суммарной балльной оценки качества.

Данные Таблицы 10б показывают большое повышение изменчивости (вариации), наблюдаемое между группами (показателями качества в Таблице 10а) при повышении дозировки ферментного препарата, что доказывается проверкой нулевой гипотезы при выявлении существенности различия MS эффекта и MS ошибки с учетом оценки дисперсии σ^2 при помощи критерия Фишера.

Таблица 10а

Влияние ферментного препарата Глюзим 500 BG на качество хлеба

Показатели качества	Контроль	Дозировка улучшителя к массе пшеничной муки, %				
		0,003	0,005	0,007	0,0010	0,014
1	2	3	4	5	6	7
Удельный объем формового хлеба, см ³ / 100 г	247	269	275	280	285	286
Формоустойчивость ($H : D$)	0,44	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54
Кислотность мякиша, град	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
Влажность мякиша, %	42,0	42,0	42,2	42,4	42,8	43,0
Пористость мякиша, %	71	71	72	72	73	73
Структурно-механические свойства мякиша, ед. пр. АП-4/2:						
$\Delta H_{\text{общ}}$	44	46	54	70	74	76
$\Delta H_{\text{пл}}$	26	27	34	47	49	50
$\Delta H_{\text{упр}}$	18	19	20	23	25	26
Балльная оценка, балл	78,0	81,5	83,0	84,0	82,5	82,5

Таблица 10б

Дисперсионный анализ влияния ферментного препарата Глюзим 500 BG на качество хлеба

Источник вариации	SS	df	MS	F	p-значение	Fкрит
1	2	3	4	5	6	7
Между группами	329990,90	8	41248,86	663,66	p < 0,01	2,15
Внутри групп	2796,93	45	62,15			
Итого	332787,83	53				

Данные Таблицы 11а показывают, что ввод амарантовой цельносмолотой полножирной муки в рецептуру хлеба в дозировках 3-15 % взамен части муки (т.е. в рекомендуемом количестве добавки при выработке хлебобулочных изделий) приводил к заметному повышению формоустойчивости образцов подового хлеба, улучшению пористости и упругости мякиша при незначительном росте удельного объема образцов формового хлеба, что отразилось на величине суммарной балльной оценки качества.

Данные Таблицы 11б показывают большое повышение изменчивости (вариации), наблюдаемое между группами (показателями качества в Таблице 11а) при повышении дозировки ферментного препарата, что доказывается проверкой нулевой гипотезы при выявлении существенности разли-

чия MS эффекта и MS ошибки с учетом оценки дисперсии σ^2 при помощи критерия Фишера.

Сравнение результатов дисперсионного анализа изучения влияния дозировок добавок на изменчивость средних в группах показателей качества хлеба при проведении пробных лабораторных выпечек (Таблицы 4б–11б) позволило выделить отдельные улучшители и микроингредиенты, оказывающие наибольшее воздействие на изменение величины факторов: ферментный препарат Новозим 677 BG ($F = 804,27$), амарантовая цельносмолотая полножирная мука ($F = 724,68$) и ферментный препарат Глюзим 500 BG ($F = 663,66$).

По результатам пробных лабораторных выпечек и патентной литературы^{11,12} в состав ком-

Таблица 11а

Влияние амарантовой цельносмолотой полножирной муки на качество хлеба

Показатели качества	Контроль	Дозировка улучшителя вместо пшеничной муки, %				
		3	5	7	10	15
1	2	3	4	5	6	7
Удельный объем формового хлеба, см ³ / 100 г	247	261	268	275	276	278
Формоустойчивость ($H : D$)	0,44	0,46	0,48	0,49	0,50	0,51
Кислотность мякиша, град	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7
Влажность мякиша, %	42,0	42,6	42,8	43,0	43,2	43,4
Пористость мякиша, %	71	73	73	74	74	75
Структурно-механические свойства мякиша, ед. пр. АП-4/2:						
$\Delta H_{\text{общ}}$	44	62	69	74	79	82
$\Delta H_{\text{пл}}$	26	43	49	52	54	53
$\Delta H_{\text{упр}}$	18	19	20	22	25	29
Балльная оценка, балл	78,0	86,6	89,0	90,5	89,0	87,0

Таблица 11б

Дисперсионный анализ влияния амарантовой цельносмолотой полножирной муки на качество хлеба

Источник вариации	SS	df	MS	F	p-значение	Fкрит
1	2	3	4	5	6	7
Между группами	313306,88	8	39163,36	724,68	p < 0,01	2,15
Внутри групп	2431,89	45	54,04			
Итого	315738,77	53				

¹¹ Чижикина, О. Г., Смертина, Е. С., & Коршенко, Л. О. (2002). Пат. 2185065 РФ. Композиция для приготовления улучшителя хлебопекарного.

¹² Росляков, Ю. Ф., Бочкова, Л. К., Кисилева, Н. В., & Шмалько, Н. А. (2008). Пат. 2340190 РФ. Комплексный хлебопекарный улучшитель. Краснодар: Кубанский государственный технологический университет.

позиции хлебопекарного улучшителя при моделировании были включены компоненты, оказывающее наибольшее влияние на изменчивость показателей качества хлеба: ферментные препараты – Фунгамил Супер АХ и Новамил 1500 MG, окислитель – аскорбиновая кислота, ферментативно-активное сырье – амарантовая цельносмолотая полноразмерная мука, активатор брожения – аммоний фосфорнокислый двузамещенный, интервалы варьирования которых для различных вариантов составов композиции представлены в Таблице 2.

Расчетным путем по результатам двухфакторного эксперимента составлено уравнение (2), в котором помимо линейных членов содержались члены, учитывающие эффект парного межфакторного взаимодействия. Статистический анализ значимости оценок коэффициентов уравнения показал с заданной вероятностью p , что полученные оценки коэффициентов уравнения по модулю либо больше (т.к. они значимо отличались от нуля), либо меньше ошибки в их определении (т.к. они незначимо отличались от нуля и исключались из уравнения).

При определении коэффициентов линейного уравнения регрессии по формуле (2) была использована $1/16$ от ПФЭ 2^7 с генерирующими соотношениями $x_4 = x_1x_2x_3$, $x_5 = x_1x_2$, $x_6 = x_1x_3$, $x_7 = x_2x_3$. Средние значения объемного выхода формового хлеба получены по двум измерениям по формуле (3). Однородность дисперсий S_i^2 при условии $i = 1, 2, \dots, 8$ в формуле (4) была определена по критерию Кохрена согласно формуле (5), где сумма дисперсий составила $S_i^2 = 1596$, $G = 0,362$. Отсюда следует равенство $G_{0,95}(1,8) = 0,6798$, и так как выполняется условие $G < G_{1P}(f_1, f_2)$, дисперсии следует считать однородными.

Дисперсия воспроизводимости вычислялась как среднее арифметическое по формуле (6): $S_{воспр}^2 = 199,5$ число степеней свободы дисперсии по формуле (7) $f_{воспр} = 8 \times (2 - 1) = 8$, коэффициенты уравнения регрессии по формуле (8):

$$b_0 = +380,625, b_1 = +24,875, b_2 = +11,125, b_3 = +17,375, b_4 = -8,875, b_5 = -0,125, b_6 = -6,375, b_7 = -7,625.$$

Значимость коэффициентов уравнения регрессии оценивалась по критерию Стьюдента, для чего вначале определялась дисперсия коэффициентов по формуле (10), затем составлялись t -отношения для всех коэффициентов уравнения регрессии по формуле (11) и производились вычисления ошибки коэффициентов по формуле (12):

$$S_{b_i} = 3,53, t_0 = 107,83, t_1 = 7,05, t_2 = 3,15, t_3 = 4,92, t_4 = 2,51, t_5 = 0,04, t_6 = 1,81, t_7 = 2,16.$$

Расчитанное значение критерия Стьюдента получилось равным $t_{0,05}(8) = 2,31$, поэтому коэффициенты уравнения регрессии b_5, b_6, b_7 стали незначимыми. После исключения незначимых коэффициентов уравнение регрессии приняло следующий вид

$$\hat{y} = 380,625 + 24,875x_1 + 11,125x_2 + 17,375x_3 - 8,875x_4.$$

Полученное решение можно прокомментировать следующим образом, обращаясь к теории математического планирования эксперимента (Грачев & Плаксин, 2005). Как правило, при назначении величины интервалов варьирования в плане эксперимента по результатам изучения литературных данных с учетом разрешающей способности методики выполнения опыта исключению подлежит изучение слишком малого интервала варьирования фактора, поскольку он не сможет значимо влиять на процесс. В то же время, слишком широкий интервал варьирования активного фактора может вызвать такое большое изменение величины критерия оптимальности, что будет «маскировать» влияние других факторов, в связи с чем некоторые из них могут быть отнесены к неактивным (незначимым).

С целью проверки полученного уравнения на адекватность по критерию Фишера по формуле (13) вычислялась остаточная дисперсия по формуле (14), для чего вначале определялись значения изучаемого параметра по полученному уравнению регрессии при подстановке $+1$ или -1 вместо X_i в соответствии с номером y_i эксперимента из Таблицы 3.

$$\hat{y}_1 = 341, \hat{y}_2 = 408, \hat{y}_3 = 336, \hat{y}_4 = 368, \hat{y}_5 = 393, \hat{y}_6 = 425, \hat{y}_7 = 353, \hat{y}_8 = 353, S_{ост}^2 = 525,33.$$

Расчетное значение критерия Фишера составило:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_{воспр}^2} = \frac{525,33}{199,5} = 2,63.$$

Табличное значение критерия Фишера для $p = 0,05, f_1 = 8$ получилось равным $F_{0,95}(4,8) = 3,8$, т.е. при сравнении с расчетным значением выполнялось условие неравенства (15), отсюда следует, что уравнение регрессии на первом этапе исследования явилось адекватным эксперименту. Работоспособность математической модели была доказана путем проведения расчета программы оптимизации с применением процедуры Бокса-Уилсона для линейного уравнения (Таблица 12).

Таблица 12

Результаты процедуры Бокса-Уилсона для линейного уравнения

Параметры	Факторы				u	ΔC_{1u} , %	ΔC_{2u} , %	ΔC_{3u} , %	ΔC_{4u} , %	У _ш , см ³ на 100 г хлеба
	I	II	III	IV						
b_i	24,875	11,125	17,375	-8,875	1	29,355	13,125	17,505	-8,925	421,260
λ_i	5,0 %	5,0 %	0,2 %	0,2 %	2	33,835	15,125	17,635	-8,975	461,873
$b_i \lambda_i$	124,375	55,625	3,475	-1,775	3	38,315	17,125	17,765	-9,025	500,134
k_i	1,0	0,45	0,03	-0,01	4	42,795	19,125	17,895	-9,075	539,970
ΔC_i	4,48 %	2,0 %	0,13 %	-0,05	5	47,275	21,125	18,025	-9,125	538,744

Использование процедуры Бокс-Уилсона для оптимизации состава композиции хлебопекарного улучшителя при изучении изменения всех четырех факторов показало получение результата отклика с постоянным повышением эффективности суммарного действия отдельных улучшителей в составе композиции, связанным с прогнозируемым увеличением их дозировок, что может противоречить рекомендациям по их применению¹³. В связи с этим, оптимальный состав композиции хлебопекарного улучшителя следует искать с учетом возможных ограничений на величину факторов, при этом за оптимальный состав принимают условия опыта, давшего самый высокий результат.

Результаты оценки коэффициентов и линейных эффектов факторов при парном взаимодействии, представленные в Таблице 13, показывают, что положительное влияние на величину отклика

(объемный выход формового хлеба) оказало повышение дозировок наполнителя (пшеничной муки), активатора брожения (аммония фосфорнокислого двузамещенного) и ферментативно-активного сырья (амарантовой цельносмолотой полножирной муки). Противоположное действие на величину отклика оказало повышение дозировок окислителя (аскорбиновой кислоты), ферментных препаратов (Фунгамил Супер АХ, Новамил 1500 МГ) и их смесей.

Проверка гипотезы о наличии взаимосвязей между изучаемыми факторами и откликом путем их линейного многомерного моделирования в регрессионном анализе показала целесообразность для статистической оценки полученных данных применения метода построения искусственных нейронных сетей. Результаты построения начальной конфигурации нейронной сети с авто-

Таблица 13

Оценка коэффициентов и линейных эффектов факторов при парном взаимодействии (Include in model 2-way interactions)

Effect Estimates; Var.:Var8; R – sq = 1, (Spreadsheet1_Улучшитель) 7 factors at two levels DV: Var8		
	Effect	Coeff.
1	2	3
Mean/Interc.	380,6250	380,6250
(1)Var1	49,7500	24,8750
(2)Var2	22,2500	11,1250
(3)Var3	34,7500	17,3750
(4)Var4	-17,7500	-8,8750
(5)Var5	-0,2500	-0,1250
(6)Var6	-12,7500	-6,3750
(7)Var7	-15,2500	-7,6250

¹³ Технологическая инструкция по применению ферментных препаратов фирмы «Ново Нордикс» (Дания) при производстве хлебобулочных изделий из ржаной, смеси ржаной и пшеничной, пшеничной муки (1999). М.: МГУПП. Пищепромпродукт.

мативизированным и пользовательским выбором ее архитектуры и алгоритма обучения приведены в Таблице 14.

Результаты построения нейронной сети в автоматизированном режиме (варианты 1-10) для решения задачи регрессионного анализа показали недостаточную статистическую достоверность результатов вычислений. Коэффициент корреляции r составил менее 0,75, т.е. получена корреляция средняя, что свидетельствует об недообучении сетей при отборе начальной конфигурации сети конструктором случайным образом. В пользовательском режиме (вариант 11) была изменена конфигурация MLP путем включения в статистический анализ всех входных данных и удаления нейрона в промежуточном слое, в результате чего точность измерения повысилась (коэффициент корреляции r достиг 0,78, т.е. получена корреляция сильная). Предсказанные нейронной сетью величины поверхности отклика представлены в Таблице 15.

Для набора прогнозируемых величин отклика поверхности в Таблице 15 (колонки Var8.1, Var8.3, Var8.4) значение факторов в центре эксперимента может соответствовать вершине поверхности от-

клика при одинаковом увеличении или уменьшении величины фактора на одну и ту же величину при приближении к околооптимальной плоскости. Для набора прогнозируемых величин отклика поверхности в центре опыта (колонка Var8) и в околооптимальной плоскости (колонка Var8.2) характерно отсутствие значительных повторов, что обуславливает оптимальный выбор направления движения вектора градиента по поверхности отклика.

Выполнение условия (19) обеспечивает работоспособность полученных математических моделей прогноза величины поверхности отклика, не требуя включения в линейное уравнение квадратичных эффектов факторов. Доверительная ошибка разности между среднеарифметической оценкой результата дополнительного опыта в центре эксперимента и свободным членом полученного уравнения снижается на 3,06 % для участка околооптимальной плоскости поверхности отклика по сравнению с опытом, поставленным в центре эксперимента. Соответственно, величина отклика в области минимума составила 367 см³ на 100 г хлеба, а в области максимума – 425 см³ на 100 г хлеба, что обеспечило получение качества формового хлеба не ниже уровня классификационных норм,

Таблица 14

Результаты построения нейронной сети в автоматизированном и пользовательском* режимах для решения задачи регрессии (с округлением значений до тысячных долей)

	Profile	Train Perf.	Select Perf.	Test Perf.	Train Error	Select Error	Test Error	Training/ Members	Inputs	Hidden(1)	Hidden(2)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	MLP 1:1-1-1:1	0,606	1,863	1,760	0,254	0,414	0,470	BP100, CG20,CG0b	1	1	0
2	Linear 7:7-1:1	0,000	0,110	1,000	0,000	0,165	0,313	PI	7	0	0
3	MLP 1:1-3-1:1	0,678	0,055	1,000	0,300	0,067	0,256	BP100, CG20,CG0b	1	3	0
4	RBF 1:1-1-1:1	0,536	0,856	1,000	0,010	0,014	0,022	KM,KN,PI	1	1	0
5	RBF 1:1-1-1:1	1,000	1,000	1,000	0,018	0,010	0,013	KM,KN,PI	1	1	0
6	Linear 1:1-1:1	0,696	0,058	0,000	0,248	0,132	0,395	PI	1	0	0
7	MLP 6:6-11-9-1:1	0,009	0,068	0,000	0,004	0,053	0,404	BP100, CG20,CG0b	6	11	9
8	GRNN 7:7-4-2-1:1	0,001	1,000	0,000	0,000	0,017	0,010	SS	7	4	2
9	RBF 3:3-1-1:1	1,000	1,000	0,000	0,018	0,017	0,010	KM,KN,PI	1	1	0
10	RBF 1:1-1-1:1	1,000	1,000	0,000	0,018	0,017	0,010112	KM,KN,PI	1	2	0
11	MLP 7:7-5-1:1	0,249	1,204	0,442	0,112	0,231	0,525	CG4b	7	5	0

Таблица 15

Предсказанные величины поверхности отклика при вычислении нейронной сетью в режиме регрессионного анализа

Prediction (1-5) (Spreadsheet1_Улучшитель)					
Номер опыта в эксперименте	Var8	Var8.1	Var8.2	Var8.3	Var8.4
1	2	3	4	5	6
1	342	403	386	362	322
2	422	403	422	403	404
3	322	365	322	362	322
4	367	365	367	403	404
5	392	365	386	362	322
6	411	365	425	403	404
7	367	403	386	362	322
8	422	403	422	403	404
Среднее арифметическое	381	384	390	383	363
Оценка суммарного квадратичного эффекта факторов	0	3,375	8,875	1,875	17,625
Доверительная ошибка	25,394	15,947	22,334	16,768	29,209

предъявляемых для хлебобулочных изделий, вырабатываемых из пшеничной муки первого сорта¹⁴.

Полученные данные позволяют разработать рекомендации по совместному применению улучшителей различной направленности и принципа действия при изучении оптимального состава композиции хлебопекарного улучшителя посредством планирования и реализации полного факторного эксперимента.

Выводы

Таким образом, моделирование состава композиции хлебопекарного улучшителя направленного действия по схеме полного факторного эксперимента ПФЭ 2ⁿ позволило оценить совместное влияние различных однокомпонентных улучшителей и микроингредиентов на качество хлеба. Применение дисперсионного анализа для изучения влияния дозировок добавок на изменчивость средних в группах показателей качества установило отдельные улучшители и микроингредиенты, оказывающие наибольшее воздействие на изменение величины факторов. Проведение полного факторного эксперимента ПФЭ 2⁷ на основе априорной экспериментальной информации позволило определить оптимальное количество факторов,

участвующих в построении модели состава композиции хлебопекарного улучшителя, полностью раскрывая характер взаимодействия между отдельными улучшителями и микронутриентами. Дополнением к анализу послужило построение нейронных сетей для осуществления регрессионного анализа с целью уточнения состава композиции хлебопекарного улучшителя.

Литература

- Бобышев, К. А., & Матвеева, И. В. (2014). Влияние ферментного препарата глюкозооксидазы на свойства теста и качество хлеба из пшеничной муки. *Хлебпродукты*, 7, 48-50.
- Боровиков, В. П. (2008). Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных (2-е изд.). М.: Горячая линия-Телеком.
- Грачев, Ю. П., & Плаксин, Ю. М. (2005). Математические методы планирования эксперимента. М.: ДеЛи принт.
- Дремучева, Г. Ф., & Карчевская, О. Е. (2000). Улучшение качества хлеба с пониженными хлебопекарными свойствами. *Хлебпродукты*, 4, 26-27.
- Дремучева, Г. Ф., & Носова, Г. Ф. (2019). Технологическая эффективность применения комп-

¹⁴ Пучкова, Л. И. (2004). Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства (4-е изд.). СПб.: ГИОРД.

- лексных хлебопекарных улучшителей на основе отечественных ферментных препаратов. *Хлебопечение России*, 3, 21-26.
- Дремучева, Г. Ф., Невский, А. А., Бессонова, Н. Г., Цурикова, Н. В., Великорецкая, И. А., & Синицын, А. П. (2017). Влияние отечественного ферментного препарата с эндо-ксиланазной активностью на хлебопекарные свойства пшеничной муки и качество хлеба. *Хлебопечение в России*, 4, 35-38.
- Дремучева, Г. Ф., Невский, А. А., Стрельникова, М. В., & Цурикова, Н. В. (2017). Исследование технологических свойств ферментного препарата амилоризин в производстве хлеба из пшеничной муки. *Хлебопечение в России*, 3, 10-13.
- Зюзько, А. С., Коростова, Е. В., & Бондаренко, В. И. (2011). Разработка комплексного улучшителя для повышения качества хлеба из пшеничной муки. *Известия вузов. Пищевая технология*, 4, 24-25.
- Карчевская, О. Е., & Дремучева, Г. Ф. (2002). Влияние улучшителей окислительного действия и композиционных добавок на белковый комплекс пшеничной муки с пониженными хлебопекарными свойствами. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 1, 17-19.
- Китаевская, С. В. (2016). Оценка устойчивости модифицированных крахмалов к низкотемпературной обработке. *Вестник технологического университета*, 19(8), 127-129.
- Косован, А. П., & Дремучева, Г. Ф. (2003а). Применение хлебопекарных улучшителей для регулирования качества муки. *Пищевая промышленность*, 12, 44-45.
- Косован, А. П., & Дремучева, Г. Ф. (2003б). Хлебопекарные улучшители: Тенденции развития и особенности применения. *Хлебопечение России*, 4, 20-23.
- Мартьянова, А. И., & Мелешкина, Е. П. (2002а). Новые улучшители пшеничной муки (начало). *Хлебопродукты*, 10, 28-29.
- Мартьянова, А. И., & Мелешкина, Е. П. (2002б). Новые улучшители пшеничной муки. *Хлебопродукты*, 11, 24-25.
- Матвеева, И. В. (2003). Ферментные препараты для хлебопекарной отрасли: Новые технологии и перспективы применения. *Хлебопечение России*, 4, 24-27.
- Нечаев, А. П. (2006). Хлебопекарные улучшители: Когда и зачем. *Хлебопродукты*, 9, 2-3.
- Носова, М. В., & Дремучева, Г. Ф. (2020). Влияние хлебопекарного улучшителя Амилокс-6-3 на качество и степень сохранения свежести хлебобулочных изделий из пшеничной хлебопекарной муки высшего сорта. *Научные труды КубГТУ*, 2, 68-80.
- Носова, М. В., Дремучева, Г. Ф., Костюченко, М. Н., Зуева, А. Г., & Цурикова, Н. В. (2019). Технологические свойства мультэнзимной композиции на основе отечественных ферментных препаратов в технологии хлеба из пшеничной муки с различными хлебопекарными свойствами. *Пищевая промышленность*, 4, 76-77. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10038>
- Травкина, С. Г., & Егорова, З. Е. (2016). Влияние уксусной кислоты и ферментных препаратов на стойкость и свежесть заварного хлеба. *Вестник МАХ*, 1, 30-35.
- Шлеленко, Л. А., Поландова, Р. Д., & Дремучева, Г. Ф. (2001). Влияние мультэнзимных композиций на свойства теста и качество пшеничного хлеба. *Хлебопечение России*, 1, 22-24.
- Шмалько, Н. А., & Росляков, Ю. Ф. (2011). *Амарант в пищевой промышленности*. Краснодар: Просвещение-Юг.
- Awan, J. A., Pasha, I., & Huma, N. (2003). Preparation and application of bread improver using locally available ingredients Salim-ur-Rehman. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences (Pakistan)*, 39(2), 154-158.
- Barrera, G. N., Tadini, C. C., León, A. E., & Ribotta, P. D. (2016). Use of alpha-amylase and amyloglucosidase combinations to minimize the bread quality problems caused by high levels of damaged starch. *Journal of Food Science and Technology*, 53(10), 3675-3684. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2337-2>
- Bilyk, O., Bondarenko, Yu., Kochubei-Lytvynenko, O., Khalikova, E., & Fain, A. (2019). Studying the effect of the integrated bread baking improver "Mineral Freshness Super" on consumer properties of wheat bread. *Technology and Equipment of Food Production*, 2(11), 65-72. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.162671>
- Dahiyaa, S., Bajajb, B. K., Kumar, A., Tiwari, S. K., & Singh, B. (2020). A review on biotechnological potential of multifarious enzymes in bread making. *Process Biochemistry*, 99, 290-306. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.09.002>
- Ghorbel, R. E., Kamoun, A., Neifar, M., & Chaabouni, S. E. (2010). Optimization of new flour improver mixing formula by surface response methodology. *Journal of Food Process Engineering*, 33(2), 234-256. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2008.00270.x>
- Lončar, D. M., Filipović, V. S., & Filipović, J. S. (2016). Optimisation of amylase and xylanase addition depending on white flour amylase activity. *Hemijaska Industrija*, 70(6), 673-683. <https://doi.org/10.2298/HEMIND150814004L>
- Matsushita, K., Tamura, A., Goshima, D., Santiago, D. M., Myoda, T., Takata, K., Yamauchi, H.

- (2020). Effect of combining additional bakery enzymes and high pressure treatment on bread making qualities. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 57, 134-142. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04038-4>
- Matsushita, K., Terayama, A., Goshima, D., Myoda, T., Yamauchi, H. (2019). Optimization of enzymes addition to improve whole wheat bread making quality by response surface methodology and optimization technique. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 1454-1461. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03629-5>
- Melis, S., Morales, W. R. M., & Delcour, J. A. (2019). Lipases in wheat flour bread making: Importance of an appropriate balance between wheat endogenous lipids and their enzymatically released hydrolysis products. *Food Chemistry*, 298, Article 125002. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125002>
- Moayedallaie, S., Mirzaei, M., & Paterson, J. (2010). Bread improvers: Comparison of a range of lipases with a traditional emulsifier. *Food Chemistry*, 122(3), 495-499. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.033>
- Patel, M. J., Ng, J. H. Y., Hawkins, W. E., Pitts, K. F., Chakrabarti-Bell, S. (2012). Effects of fungal α -amylase on chemically leavened wheat flour doughs. *Journal of Cereal Science*, 56(3), 644-651. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.08.002>
- Shivapour, M., Yousefi, S., Mahdi, S., Ardabili, S., & Weisany, W. (2020). Optimization and quality attributes of novel toast breads developed based on the antistaling watermelon rind powder. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, Article 100073. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100073>
- Zhygunov, D., Mardar, M., & Kovalyova, V. (2018). Use of enzyme preparations for improvement of the flour baking properties. *Food Science and Applied Biotechnology*, 1(1), 26-32. <https://doi.org/10.30721/fsab2018.v1.i1.21>

Modeling the Composition of the Bakery Improvers with Directional Action

Natalya A. Shmalko

Kuban State Technological University
2, bldg. "G", Moskovskaya str., Krasnodar, 350072, Russian Federation
E-mail: kafedra-tith@yandex.ru

Modeling the composition of a bakery improver with directional action is a practical task for specialists in the bakery industry in order to predict the quality of raw materials, semi-finished products and finished products. The modeling method is based on the principle of solving the regression problem by compiling and implementing a full factorial experiment when studying all possible combinations of factors with a smaller error than with traditional research methods. The selection of the components that have the best effect on the set of indicators of the quality of bread, with the subsequent drawing up of a simulation experiment plan, is recommended to be carried out according to the results of the analysis of variance of a series of test baked goods with the introduction of individual improvers and micro-ingredients. An important stage in the implementation of the experimental plan is the calculation of the optimization program according to the linear equation in order to determine the optimal combination of components in the composition of the bakery improver. The analysis can be supplemented by the construction of neural networks for conducting regression analysis in order to clarify the composition of the bakery improver composition. A comprehensive solution to the modeling problem based on a priori experimental information allows us to develop recommendations for the combined use of bakery improvers of various directions and principles of action.

Keywords: modeling, composition, bakery improver, experiment planning, factors, response function

References

- Bobyshev, K. A., & Matveeva, I. V. (2014). Vliyanie fermentnogo preparata glyukozooksidazy na svoystva testa i kachestvo khleba iz pshechnoi muki [Influence of the enzyme preparation glucose oxidase on the properties of the dough and the quality of bread made from wheat flour]. *Khleboпродукты [Bakery Products]*, 7, 48-50.
- Borovikov, V. P. (2008). *Neironnye seti. STATISTICA Neural Networks: Metodologiya i tekhnologii sovremennogo analiza dannykh [Neural networks. STATISTICA Neural Networks: Methodology and Technologies of Modern Data Analysis]* (2nd ed.). Moscow: Goryachaya liniya-Telekom.
- Dremucheva, G. F., & Karchevskaya, O. E. (2000). Uluchshenie kachestva khleba s ponizhennymi khlebopekarnymi svoystvami [Improving the quality of bread with reduced baking properties]. *Khleboпродукты [Bakery Products]*, 4, 26-27.
- Dremucheva, G. F., & Nosova, G. F. (2019). Tekhnologicheskaya effektivnost' primeneniya kompleksnykh khlebopekarnykh uluchshitelei na osnove otechestvennykh fermentnykh preparatov [Technological efficiency of using complex bakery improvers based on domestic enzyme preparations]. *Khlebopechenie Rossii [Bakery in Russia]*, 3, 21-26.
- Dremucheva, G. F., Nevskii, A. A., Bessonova, N. G., Tsurikova, N. V., Velikoretskaya, I. A., & Sinit-syn, A. P. (2017). Vliyanie otechestvennogo fermentnogo preparata s endo-ksilanaznoi aktivnost'yu na khlebopekarnye svoystva pshechnoi muki i kachestvo khleba [The effect of a domestic enzyme preparation with endo-xylanase activity on the baking properties of wheat flour and the quality of bread]. *Khlebopechenie v Rossii [Bakery in Russia]*, 4, 35-38.
- Dremucheva, G. F., Nevskii, A. A., Strel'nikova, M. V., & Tsurikova, N. V. (2017). Issledovanie tekhnologicheskikh svoystv fermentnogo preparata amilorizin v proizvodstve khleba iz pshechnoi muki [Study of the technological properties of the enzyme preparation amilorizin in the production of bread from wheat flour]. *Khlebopechenie v Rossii [Bakery in Russia]*, 3, 10-13.
- Grachev, Yu. P., & Plaksin, Yu. M. (2005). *Matematicheskie metody planirovaniya eksperimenta [Mathematical methods of experiment planning]*. Moscow: DeLi print.
- Karchevskaya, O. E., & Dremucheva, G. F. (2002). Vliyanie uluchshitelei okislitel'nogo deistviya i kompozitsionnykh dobavok na belkovyi kompleks pshechnoi muki s ponizhennymi khlebopekarnymi svoystvami [Influence of oxidative improvers and compositional additives on the protein complex of wheat flour with reduced baking properties]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and processing of Farm Products]*, 1, 17-19.

- Kitaevskaya, S. V. (2016). Otsenka ustoichivosti modifitsirovannykh krakhmalov k nizkoterperaturnoi obrabotke [Evaluation of the resistance of modified starches to low-temperature processing]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta [Technological University Bulletin]*, 19(8), 127-129.
- Kosovan, A. P., & Dremucheva, G. F. (2003a). Khlebopekarnye uluchshiteli: Tendentsii razvitiya i osobennosti primeneniya [Bakery improvers: Development trends and application features]. *Khlebopechenie Rossii [Bakery in Russia]*, 4, 20-23.
- Kosovan, A. P., & Dremucheva, G. F. (2003b). Primenenie khlebopekarnykh uluchshitelei dlya regulirovaniya kachestva muki [The use of baking improvers to control flour quality]. *Pishchевaya promyshlennost' [Food Industry]*, 12, 44-45.
- Mart'yanova, A. I., & Meleshkina, E. P. (2002a). Novye uluchshiteli pshenichnoi muki (nachalo) [New Wheat Flour Improvers (Start)]. *Khleboprodukty [Bakery Products]*, 10, 28-29.
- Mart'yanova, A. I., & Meleshkina, E. P. (2002b). Novye uluchshiteli pshenichnoi muki [New Wheat Flour Improvers]. *Khleboprodukty [Bakery Products]*, 11, 24-25.
- Matveeva, I. V. (2003). Fermentnye preparaty dlya khlebopekarnoi otrasli: Novye tekhnologii i perspektivy primeneniya [Enzyme preparations for the bakery industry: New technologies and application prospects]. *Khlebopechenie Rossii [Bakery in Russia]*, 4, 24-27.
- Nechaev, A. P. (2006). Khlebopekarnye uluchshiteli: Kogda i zachem [Bakery Improvers: When and Why]. *Khleboprodukty [Bakery Products]*, 9, 2-3.
- Nosova, M. V., & Dremucheva, G. F. (2020). Vliyanie khlebopekarnogo uluchshitelya Amiloks-6-3 na kachestvo i stepen' sokhraneniya svezhesti khlebobulochnykh izdelii iz pshenichnoi khlebopekarnoi muki vysshego sorta [Influence of the bakery improver Amilox-6-3 on the quality and degree of preservation of freshness of bakery products made from wheat bakery flour of the highest grade]. *Nauchnye trudy KubGTU [Scientific works of the Kuban State Technological University]*, 2, 68-80.
- Nosova, M. V., Dremucheva, G. F., Kostyuchenko, M. N., Zueva, A. G., & Tsurikova, N. V. (2019). Tekhnologicheskie svoystva mul'tenzimnoi kompozitsii na osnove otechestvennykh fermentnykh preparatov v tekhnologii khleba iz pshenichnoi muki s razlichnymi khlebopekarnymi svoystvami [Technological properties of a multi-enzyme composition based on domestic enzyme preparations in the technology of bread made from wheat flour with various baking properties]. *Pishchевaya promyshlennost' [Food Industry]*, 4, 76-77. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10038>
- Shlelenko, L. A., Polandova, R. D., & Dremucheva, G. F. (2001). Vliyanie mul'tenzimnykh kompozitsii na svoystva testa i kachestvo pshenichnogo khleba [Influence of multi-enzyme compositions on the properties of the dough and the quality of wheat bread]. *Khlebopechenie Rossii [Bakery in Russia]*, 1, 22-24.
- Shmal'ko, N. A., & Roslyakov, Yu. F. (2011). *Amarant v pishchevoi promyshlennosti [Amaranth in the Food Industry]*. Krasnodar: Prosveshchenie-Yug.
- Travkina, S. G., & Egorova, Z. E. (2016). Vliyanie ukusnoi kisloty i fermentnykh preparatov na stoykost' i svezhest' zavarnogo khleba [Effect of acetic acid and enzyme preparations on the persistence and freshness of custard bread]. *Vestnik MAX [Bulletin of the International Academy of Refrigeration]*, 1, 30-35.
- Zyuz'ko, A. S., Korostova, E. V., & Bondarenko, V. I. (2011). Razrabotka kompleksnogo uluchshitelya dlya povysheniya kachestva khleba iz pshenichnoi muki [Development of a complex improver to improve the quality of bread from wheat flour]. *Izvestiya vuzov. Pishchевaya tekhnologiya [Proceedings of Universities. Food Technology]*, 4, 24-25.
- Awan, J. A., Pasha, I., & Huma, N. (2003). Preparation and application of bread improver using locally available ingredients Salim-ur-Rehman. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences (Pakistan)*, 39(2), 154-158.
- Barrera, G. N., Tadini, C. C., León, A. E., & Ribotta, P. D. (2016). Use of alpha-amylase and amyloglucosidase combinations to minimize the bread quality problems caused by high levels of damaged starch. *Journal of Food Science and Technology*, 53(10), 3675-3684. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2337-2>
- Bilyk, O., Bondarenko, Yu., Kochubei-Lytvynenko, O., Khalikova, E., & Fain, A. (2019). Studying the effect of the integrated bread baking improver "Mineral Freshness Super" on consumer properties of wheat bread. *Technology and Equipment of Food Production*, 2(11), 65-72. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.162671>
- Dahiyaa, S., Bajajb, B. K., Kumar, A., Tiwari, S. K., & Singh, B. (2020). A review on biotechnological potential of multifarious enzymes in bread making. *Process Biochemistry*, 99, 290-306. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.09.002>
- Ghorbel, R. E., Kamoun, A., Neifar, M., & Chaabouni, S. E. (2010). Optimization of new flour improver mixing formula by surface response methodology. *Journal of Food Process Engineering*, 33(2), 234-256. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2008.00270.x>
- Lončar, D. M., Filipović, V. S., & Filipović, J. S. (2016). Optimisation of amylase and xylanase addition depending on white flour amylase activity. *Hemijaska Industrija*, 70(6), 673-683. <https://doi.org/10.2298/HEMIND150814004L>

- Matsushita, K., Tamura, A., Goshima, D., Santiago, D. M., Myoda, T., Takata, K., Yamauchi, H. (2020). Effect of combining additional bakery enzymes and high pressure treatment on bread making qualities. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 57, 134-142. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04038-4>
- Matsushita, K., Terayama, A., Goshima, D., Myoda, T., Yamauchi, H. (2019). Optimization of enzymes addition to improve whole wheat bread making quality by response surface methodology and optimization technique. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 1454-1461. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03629-5>
- Melis, S., Morales, W. R. M., & Delcour, J. A. (2019). Lipases in wheat flour bread making: Importance of an appropriate balance between wheat endogenous lipids and their enzymatically released hydrolysis products. *Food Chemistry*, 298, Article 125002. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125002>
- Moayedallaie, S., Mirzaei, M., & Paterson, J. (2010). Bread improvers: Comparison of a range of lipases with a traditional emulsifier. *Food Chemistry*, 122(3), 495-499. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.033>
- Patel, M. J., Ng, J. H. Y., Hawkins, W. E., Pitts, K. F., Chakrabarti-Bell, S. (2012). Effects of fungal α -amylase on chemically leavened wheat flour doughs. *Journal of Cereal Science*, 56(3), 644-651. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.08.002>
- Shivapour, M., Yousefi, S., Mahdi, S., Ardabili, S., & Weisany, W. (2020). Optimization and quality attributes of novel toast breads developed based on the antistaling watermelon rind powder. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, Article 100073. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100073>
- Zhygunov, D., Mardar, M., & Kovalyova, V. (2018). Use of enzyme preparations for improvement of the flour baking properties. *Food Science and Applied Biotechnology*, 1(1), 26-32. <https://doi.org/10.30721/fsab2018.v1.i1.21>