

## Моделирование дозировки экструдированной композитной смеси на основе зерна пшеницы и бобов вигны в рецептуре обогащенного хлеба

Куручкин А.А., Гарькина П.К., Новикова О.А.

**Аннотация.** В работе применена методика, способствующая спрогнозировать качество обогащенного хлеба на этапе определения дозировок муки, как основного ингредиента, и дозировки обогащающего экструдата. Получены математические модели в виде регрессионных уравнений, достоверно описывающих зависимость удельного объема и пористости готовых хлебобулочных изделий от дозировки экструдированной композитной смеси зерна пшеницы и бобов вигны и влажности теста. Приведена графическая интерпретация регрессионных уравнений.

**Ключевые слова:** экструдат, зерно пшеницы, бобы вигны, математическая модель, оптимизация.

**Для цитирования:** Куручкин А.А., Гарькина П.К., Новикова О.А. Моделирование дозировки экструдированной композитной смеси на основе зерна пшеницы и бобов вигны в рецептуре обогащенного хлеба // Инновационная техника и технология. 2024. Т. 11. № 3. С. 33–36.

## Modeling the dosage of an extruded composite mixture based on wheat grains and vigna beans in the formulation of enriched bread

Kurochkin A.A., Garkina P.K., Novikova O.A.

**Abstract.** The work uses a technique that helps to predict the quality of fortified bread at the stage of determining the dosages of flour as the main ingredient and the dosage of the enriching extrudate. Mathematical models in the form of regression equations have been obtained that reliably describe the dependence of the specific volume and porosity of finished bakery products on the dosage of an extruded composite mixture of wheat and beans and the moisture content of the dough. A graphical interpretation of the regression equations is given.

**Keywords:** extrudate, wheat grain, vigna beans, mathematical model, optimization.

**For citation:** Kurochkin A.A., Garkina P.K., Novikova O.A. Modeling the dosage of an extruded composite mixture based on wheat grains and vigna beans in the formulation of enriched bread. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2024. Vol. 11. No. 3. pp. 33–36. (In Russ.).

### Введение

Применение растительного сырья, способствующего обогащению мучных изделий пищевыми волокнами, витаминами, минеральными веществами представляет собой перспективное направление развития инновационных технологий продуктов питания, в том числе хлебобулочных изделий.

Стручки вигны (*Vigna Savi*) представляют собой значимую продовольственную культуру с высокой питательной ценностью. Вигна относится к семейству бобовых (*Fabaceae*), подсемейству мотыльковых (*Papilionoideae*) [1]. Вигна характеризуется высоким уровнем крахмала, белка, пищевых волокон, витаминов и минералов [2]. Содержание

липидов в различных сортах фасоли составляет 1,57-2,16%. Многие исследователи сообщают о возможности замены части пшеничной муки при производстве хлебобулочных изделий на муку, полученную из овощей. Установлена перспективность сырья для проектирования комплексной добавки – пророщенная спельта, семена тыквы, грибы, вешенки и ягоды крыжовника [3]. При этом приводятся сведения о положительном влиянии овощного сырья на качество готовой продукции в виде сухих смесей, пюре, экстрактов и экструдатов [4]. В литературе отсутствует информация о влиянии экструдированной смеси пшеницы и бобов вигны на качество хлебобулочных изделий.

Авторами ранее установлены достоверные



Рис. 1. Внешний вид экструдированной смеси пшеницы и бобов вигны

данные о влиянии термовакуумной экструзии на смеси зерновых с овощными культурами, и дальнейшем их использовании в технологии хлебобулочных изделий [5, 6, 7].

Цель работы – оптимизация дозировки пшеничной муки и муки из экструдированной смеси пшеницы и бобов вигны при производстве хлебобулочных изделий.

**Объекты и методы исследования**

Для определения влияния экструдированной смеси пшеницы и бобов вигны в соотношении 1:1 (рис.1) на качество готовых хлебобулочных изделий и выбора его оптимальных дозировок проводили серию лабораторных выпечек.

Смеси пшеницы и бобов вигны в соотношении 1:1 экструдировали в течение 10 с при температуре 100-105°С с последующим воздействием на выходящее из фильеры матрицы экструдера сырье пониженным давлением, равным 0,05 МПа. Частота вращения шнека пресса-экструдера составляла 7,5 с-1, диаметр фильеры матрицы экструдера – 4 мм.

Экструдированную смесь вносили взамен пшеничной муки в количестве 5, 10, 15 и 20 %. Вы-

бор интервалов изменения обогащающей добавки обусловлен технологическими характеристиками и качеством хлебобулочных изделий на основании предварительно проведенных исследований.

Установлено увеличение удельного объема готовых изделий при замене пшеничной муки в количестве 10-15 %.

Первичная обработка экспериментальных данных была проведена в программе Microsoft Excel. Планирование и последующая обработка экспериментальных данных проводилась с помощью программы Statistica.

Для оптимизации технологических параметров хлебобулочных изделий, как удельный объем (Y1, см³/100 г), пористость (Y2, %) от варьируемых факторов – дозировки экструдированной смеси (x2, %) и влажности теста (x1, %) – проведено центральное композиционное ротатабельное планирование эксперимента с последующей графической интерпретацией математических зависимостей и получением поверхностей отклика [8].

**Результаты и их обсуждение**

Полученные в трехмерном пространстве графики, позволяют установить граничные условия действия изучаемых факторов (рис. 2, 3).

Регрессионный анализ полученных экспериментальных данных позволил вывести уравнения регрессии, описывающие зависимость удельного объема и пористости готовых хлебобулочных изделий от дозировки экструдированной смеси и влажности теста.

Предсказанное уравнение регрессии для удельного объема Y1:

$$Y1 = -5591 + 267,67 \cdot x_1 - 3,015 \cdot x_1^2 - 7,923 \cdot x_2 - 0,1792 \cdot x_2^2 + 0,26995 \cdot x_1 \cdot x_2$$

R=0,95; R2=0,89; уровень значимости p=0,002

Предсказанное уравнение регрессии для пористости Y2:

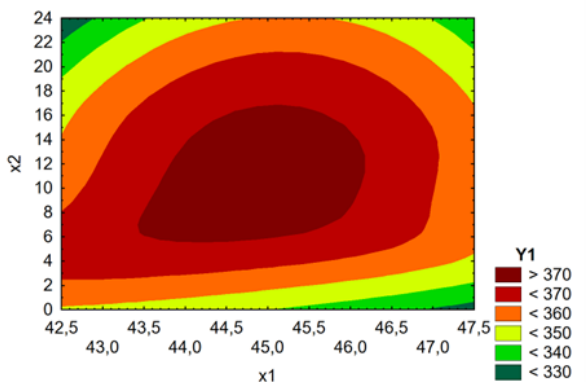


Рис. 2. Влияние влажности теста (x1) и дозировки экструдированной смеси (x2) на удельный объем хлеба (Y1)

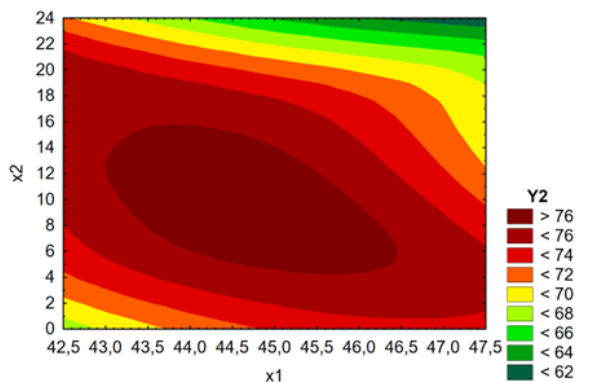


Рис. 3. Влияние влажности теста (x1) и дозировки экструдированной смеси (x2) на пористость хлеба (Y2)

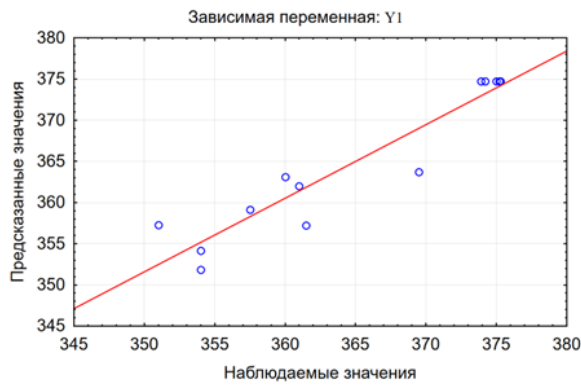


Рис. 4. Диаграмма рассеяния наблюдаемых и предсказанных значений Y1

$$Y2 = -839,9 + 39,691 \cdot x_1 - 0,4315 \cdot x_1^2 + 7,0047 \cdot x_2 - 0,0524 \cdot x_2^2 - 0,1338 \cdot x_1 \cdot x_2$$

R=0,95; R2=0,91; уровень значимости p=0,002

Анализируя влияние влажности теста ( $x_1$ ) и дозировки экструдата смеси пшеницы и вигны ( $x_2$ ) на удельный объем хлеба (Y1) можно определить рациональные значения данных параметров. Влажность теста рациональна в пределах 43-46%, оптимум 45 %, дозировка экструдированной смеси рациональна в пределах 5-15 % и оптимальна при дозировке 12 % для получения максимального значения удельного объема хлеба – 370 см<sup>3</sup>/100 г.

Анализируя влияние влажности теста ( $x_1$ ) и дозировки экструдированной смеси ( $x_2$ ) на пористость хлеба (Y2) можно определить оптимальные значения данных параметров. Влажность теста оптимальна в пределах 43-46 %, с оптимумом 45 %, дозировка экструдированной смеси рациональна в пределах 5-15 % и оптимальна при дозировке 12 % для получения максимального значения пористости хлеба 76 %.

Проверка адекватности полученных моделей осуществлялась на основе анализа диаграммы рассеяния наблюдаемых и предсказанных значений. Графики, приведенные на рис. 4 и 5 свидетельствуют о том, что обе полученные модели являются адекватными.

В дальнейшем изучали органолептические показатели хлебобулочных изделий из смеси пшеничной муки и муки из экструдированной смеси пшеницы и бобов вигны. Для этого контрольный

### Литература

- [1] Жужукин, В. И. Изучение биохимического состава семян и зеленых бобов овощной вигны (VIGNA UNG. SSP. SESQUIPEDALIS) /В.И. Жужукин, В.С. Горбунов, А.З. Багдалова // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. №. 4. С. 29-32.
- [2] Фотев, Ю.В. Интродукция экзотических

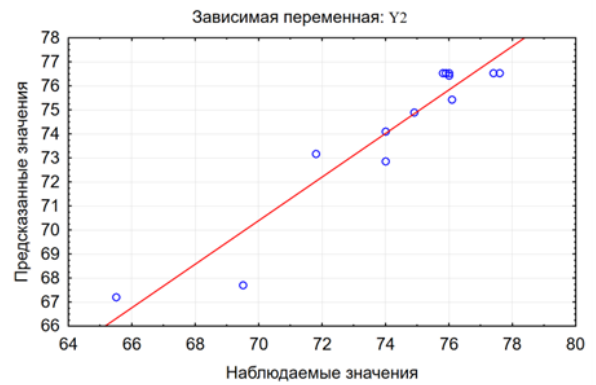


Рис. 5. Диаграмма рассеяния наблюдаемых и предсказанных значений Y2

образец сравнивали с образцом хлеба, в состав которого входило 12 % экструдированной смеси пшеницы и бобов вигны. Установлено положительное влияние муки из экструдированной смеси пшеницы и бобов вигны в дозировке 12 % на органолептические показатели готовых изделий.

### Выводы

С помощью методологии оценки поверхности отклика изучено влияние муки из экструдированной смеси пшеницы и бобов вигны на удельный объем и пористость хлебобулочных изделий.

Получены регрессионные уравнения, достоверно и адекватно описывающие зависимость удельного объема ( $y_1$ , см<sup>3</sup>/100 г) и пористости хлеба ( $y_2$ , %) от варьируемых факторов – дозировки экструдированной смеси ( $x_2$ , %) и влажности теста ( $x_1$ , %), используемой вместо части пшеничной муки.

В ходе изучения и анализа полученных данных было установлено влияние рациональной дозировки от 5 до 15 % с оптимальной дозировкой 12 % муки из экструдированной смеси пшеницы и бобов вигны взамен пшеничной муки. При этом удельный объем достигает 370 см<sup>3</sup>/100 г. Пористость при указанной оптимальной дозировке составляет 76 %. Таким образом, замена части пшеничной муки эквивалентным количеством муки из экструдированной смеси пшеницы и бобов вигны при производстве хлебобулочных изделий актуальна и может быть использована с целью оптимизации технологических показателей.

### References

- [1] Zhuzhukin, V.I. Study of biochemical composition of seeds and green beans of vegetable cowpea (VIGNA UNG. SSP. SESQUIPEDALIS) /V.I. Zhuzhukin, V.S. Gorbunov, A.Z. Bagdalova // Russian Agricultural Science. 2017. No. 4. Pp. 29-32.
- [2] Fotev, Yu.V. Introduction of exotic heat-loving vegetable plants in Siberia /Yu.V. Fotev, G.A.

- теплолюбивых овощных растений в Сибири /Ю.В. Фотев, Г.А. Кудрявцева, В.П. Белоусова //Овощеводство Сибири. Новосибирск: Сиб. отд. РАСХН. 2009. С. 176-188.
- [3] Маслов, А.В. Изучение влияния комплексной растительной добавки на свойства мучных смесей и пшеничного теста /А.В. Маслов, З.Ш. Мингалеева, Т.А. Ямашев [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 3. С. 511-525.
- [4] Манеева, Э.Ш. Применение плодовых и овощных порошков в производстве хлеба /Э.Ш. Манеева, А.В. Быков, Э.Ш. Халитова [и др.] //Хлебопродукты. 2018. № 11. С. 51-53.
- [5] Курочкин, А.А. Теоретическое обоснование применения экструдированного сырья в технологиях пищевых продуктов /А.А. Курочкин, П.К. Воронина, Г.В. Шабурова. – М.: ИНФРА-М, 2017. 163 с.
- [6] Курочкин, А.А. Поликомпонентный экструдат на основе семян томатов /А.А. Курочкин, М.В. Долгов // Инновационная техника и технология. 2022. Т. 9. № 4. С. 22-26
- [7] Курочкин, А.А., Буренкова С.А. Хлеб с добавлением экструдата смеси бобов вигны и зерна пшеницы /А.А. Курочкин, С.А. Буренкова //Инновационная техника и технология. 2023. Т. 10. № 1. С. 32-37.
- [8] Боровиков В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере [Текст] / В.П. Боровиков. – М.: Питер, 2003. – 688 с.
- Kudryavtseva, V.P. Belousova // Vegetable growing in Siberia. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2009. Pp. 176-188.
- [3] Maslov, A.V. Study of the influence of a complex plant additive on the properties of flour mixtures and wheat dough /A.V. Maslov, Z.Sh. Mingaleeva, TA. Yamashev [et al.] // Equipment and technology of food production. 2022. Vol. 52. No. 3. Pp. 511-525.
- [4] Maneeva, E.Sh. Use of fruit and vegetable powders in bread production /E.Sh. Maneeva, A.V. Bykov, E.Sh. Khalitova [et al.] // Bread products. 2018. No. 11. Pp. 51-53.
- [5] Kurochkin, A.A. Theoretical justification for the use of extruded raw materials in food technology /A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, G.V. Shaburova. – M. : INFRA-M, 2017. 163 p.
- [6] Kurochkin, A.A. Multicomponent extrudate based on tomato seeds /A.A. Kurochkin, M.V. Dolgov // Innovative equipment and technology. 2022. Vol. 9. No. 4. Pp. 22-26
- [7] Kurochkin, A.A., Burenkova S.A. Bread with the addition of an extrudate of a mixture of cowpea beans and wheat grain /A.A. Kurochkin, S.A. Burenkova // Innovative equipment and technology. 2023. Vol. 10. No. 1. Pp. 32-37.
- [8] Borovikov V.P. STATISTICA. The art of data analysis on a computer [Text] / V.P. Borovikov. – M. : Piter, 2003. – 688 p.

**Сведения об авторах**

**Information about the authors**

<p><b>Курочкин Анатолий Алексеевич</b>                  доктор технических наук                  профессор кафедры «Пищевые производства»                  ФГБОУ ВО «Пензенский государственный                  технологический университет»                  440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11                  Тел.: +7(927) 382-85-03                  E-mail: anatolii_kuro@mail.ru</p>	<p><b>Kurochkin Anatoly Alekseevich</b>                  D.Sc. in Technical Sciences                  professor at the department of «Food productions»                  Penza State Technological University                  Phone: +7(927) 382-85-03                  E-mail: anatolii_kuro@mail.ru</p>
<p><b>Гарькина Полина Константиновна</b>                  кандидат технических наук                  доцент кафедры «Пищевые производства»                  ФГБОУ ВО «Пензенский государственный                  технологический университет»                  440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11                  Тел.: +7(927) 094-79-49                  E-mail: worolina89@mail.ru</p>	<p><b>Garkina Polina Konstantinovna</b>                  PhD in Technical Sciences                  associate professor at the department of «Food productions»                  Penza State Technological University                  Phone: +7(927) 094-79-49                  E-mail: worolina89@mail.ru</p>
<p><b>Новикова Ольга Анатольевна</b>                  аспирант кафедры «Пищевые производства»                  ФГБОУ ВО «Пензенский государственный                  технологический университет»                  440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11                  Тел.: +7(937) 914-73-00                  E-mail: ms.varlos@mail.ru</p>	<p><b>Novikova Olga Anatolievna</b>                  upostgraduate student of the department «Food productions»                  Penza State Technological University                  Phone: +7(937) 914-73-00                  E-mail: ms.varlos@mail.ru</p>