

# РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, УЧИТЫВАЮЩЕЙ ВЗАИМОСВЯЗЬ ВОЗМУЩАЮЩИХ, РЕГУЛИРУЕМЫХ, УПРАВЛЯЮЩИХ И УПРАВЛЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ВЫПЕЧКИ ХЛЕБА

Краснова М.С., Сидоренко Г.А., Попов В.П., Ханин В.П., Халитова Э.Ш.  
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Современный инновационный подход при производстве пищевых продуктов предусматривает использование интенсивных ресурсосберегающих технологий, позволяющих обеспечивать высокое качество готовых изделий.

Одним из наиболее интенсивных ресурсосберегающих методов выпечки хлебобулочных изделий является электроконтактный (ЭК) прогрев, обеспечивающий быстротечность процесса, высокую равномерность температурного поля, доступность контроля и регулирования технологических параметров. Кроме того, использование ЭК-энергоподвода позволяет минимизировать потерю полезных свойств сырья, снизить образование нежелательных веществ, неусвояемых организмом соединений, повысить пищевую ценность готовых изделий, а также замедлить скорость расщепления углеводов хлеба в организме человека [1-5].

На основе экспериментов по известным методикам [6] был составлен и реализован план трехфакторного эксперимента по установлению влияния объемного напряжения, массовой доли влаги в тесте и степени разрежения пекарной камеры на комплексный показатель качества, органолептические свойства (экспертную оценку) и объемный выход хлеба. При этом массовая доля влаги в тесте варьировалась в пределах от 48 до 56 %, объемное напряжение - от 0,89 до 5,07 В/мм и степень разрежения пекарной камеры - от 0 до 40 кПа.

По результатам эксперимента, при помощи программного средства, разработанного на факультете прикладной биотехнологии и инженерии ОГУ, получены уравнения регрессии второго порядка и проведена оптимизация ЭК-выпечки хлеба.

Уравнения регрессии:

для комплексного показателя качества хлеба выпекаемого ЭК-способом:

$$КП = 7,436 + 0,732 \cdot p + 0,302 \cdot \tau + 0,082 \cdot p^2 + 0,087 \cdot M^2 \quad (1)$$

для экспертной оценки качества хлеба выпекаемого ЭК-способом:

$$ЭО = 0,233 + 0,062 \cdot p + 0,055 \cdot \tau - 0,006 \cdot \tau^2 + 0,008 \cdot M^2 \quad (2)$$

для объемного выхода хлеба выпекаемого ЭК-способом:

$$ОВ = 491,53 + 56,02 \cdot p - 3,47 \cdot \tau - 6,64 \cdot M - 25,21 \cdot p \cdot \tau - 24,96 \cdot \tau \cdot M - 6,96 \cdot p \cdot M - 2,74 \cdot p \cdot \tau \cdot M - 2,61 \cdot \tau^2 - 2,61 \cdot M^2 \quad (3)$$

где:  $\tau$  – объемное напряжение;

$M$  – массовая доля влаги в тесте;

$p$  – степень разрежения пекарной камеры.

Величины  $\tau$ ,  $M$ ,  $p$  даны в условных единицах.

Для перевода натуральных единиц в условные можно воспользоваться следующими уравнениями:

$$M = -0,25 \cdot M' + 13; \quad (4)$$

$$\tau = 0,478 \cdot \tau' - 1,426; \quad (5)$$

$$p = 0,05 p' - 1 \quad (6)$$

Величины со штрихом натуральные,

где  $M'$  – массовая доля влаги в тесте, %;

$\tau'$  – объемное напряжение, В/мм;

$p'$  - степень разрежения пекарной камеры, кПа.

Верификацию полученной математической модели производили при помощи вышеуказанного программного средства с использованием критерия Фишера. Было установлено, что при заданной вероятности попадания полученного единичного значения в доверительный интервал равной 0,95, отклонение расчетных значений от экспериментальных данных составляет не более 3 %. Вышесказанное свидетельствует о возможности применения математической модели как для прогнозирования получаемых результатов так и для оптимизации технологического процесса [7].

Плоскости отклика, отражающие зависимости комплексного показателя качества, экспертной оценки и объемного выхода хлеба от объемного напряжения и степени разрежения пекарной камеры при массовой доле влаги в тесте 48 % представлены соответственно на рисунках 1 – 3.

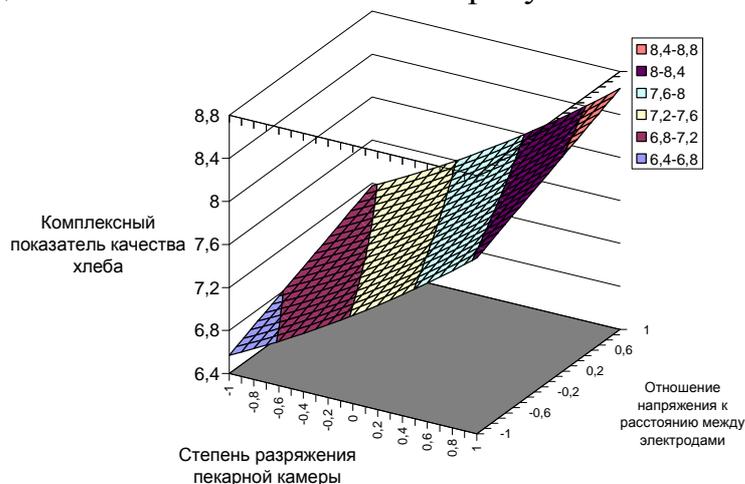


Рисунок 1 – Зависимость комплексного показателя качества хлеба выпекаемого ЭК-способом от объемного напряжения и степени разрежения пекарной камеры при массовой доле влаги в тесте 48 %

Из рисунка 1 видно, что максимальный комплексный показатель качества хлеба выпекаемого ЭК-способом (выше 8,4 баллов), достигается при степени разрежения пекарной камеры от 36 до 40 кПа (от 0,8 до 1 у.е.) и объемном напряжении от 3,00 до 5,07 В/мм (от 0,6 до 1 у.е.).

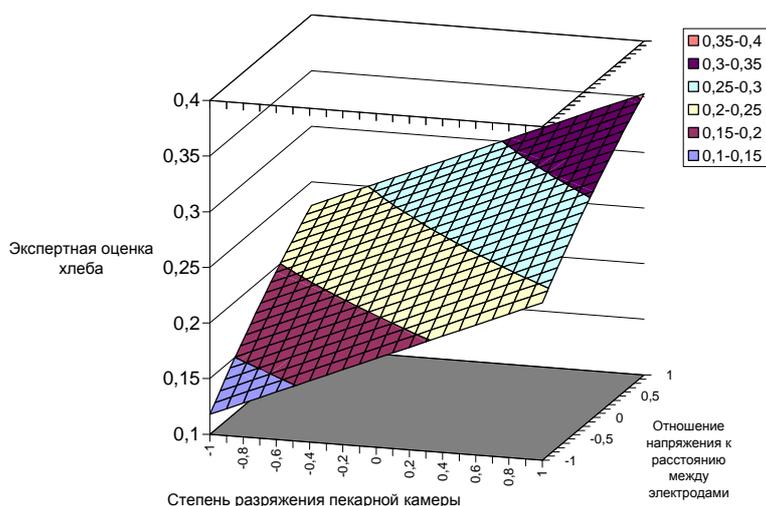


Рисунок 2 – Зависимость экспертной оценки хлеба выпекаемого ЭК-способом от объемного напряжения и степени разрежения пекарной камеры при массовой доли влаги в тесте 48 %

Из рисунка 2 видно, что максимальная экспертная оценка хлеба выпекаемого ЭК-способом (выше 0,35), достигается при степени разрежения пекарной камеры от 39 до 40 кПа (от 0,95 до 1 у.е.) и объемном напряжении от 4,75 до 5,07 В/мм (от 0,95 до 1 у.е.).

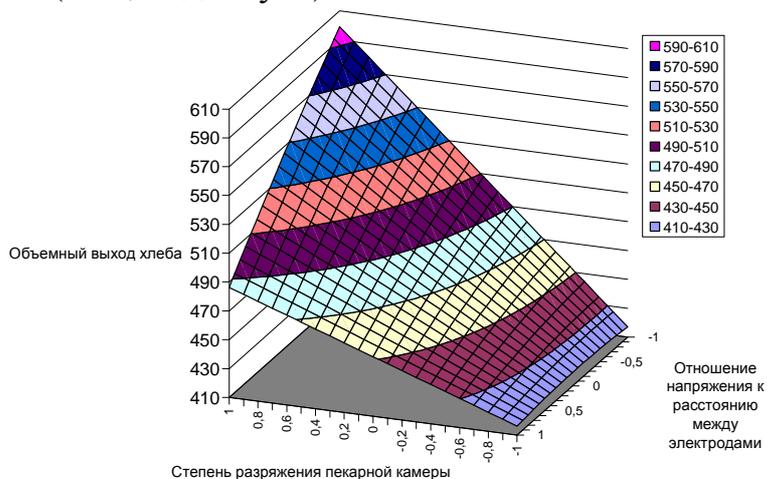


Рисунок 3 – Зависимость объемного выхода хлеба выпекаемого ЭК-способом от объемного напряжения и степени разрежения пекарной камеры при массовой доли влаги в тесте 48 %

Из рисунка 3 видно, что максимальный объемный выход хлеба выпекаемого ЭК-способом (выше 590 %), достигается при степени разрежения пекарной камеры от 38 до 40 кПа (от 0,9 до 1 у.е.) и объемном напряжении от 0,89 до 1,4 В/мм (от - 1 до - 0,9 у.е.).

Аналогичные плоскости отклика были построены для массовой доли влаги в тесте равной 50, 52, 54 и 56 %. Совокупный анализ полученных плоскостей позволил установить, что оптимальными являются объемное напряжение 4,86-5,07 В/мм (от 0,9 до 1 у.е), степень разрежения пекарной

камеры 32-40 кПа (от 0,9 до 1 у.е), массовая доля влаги в тесте 54-56 % (от 0,9 до 1 у.е), при этом комплексный показатель качества хлеба выпекаемого ЭК-способом более 8 баллов, экспертная оценка хлеба - более 0,33, объемный выход хлеба - более 500 % [8-9].

#### *Список литературы*

1. Скурихин, И.М. *Все о пище с точки зрения химика.* / И.М. Скурихин, А.П. Нечаев // М.: Высшая школа - 1991. - 288 с.
2. Ауэрман, Л.Я. *Технология хлебопекарного производства.* / Л.Я. Ауэрман // М.: Легкая и пищевая промышленность - 1984. – 415 с.
3. Шевелева Г.И. *Разработка способов повышения витаминной ценности хлебобулочных изделий.* Дисс. канд. тех. наук. - М. - 1992 – 178 с.
4. Матвеева, И.В. *Новое направление в создании технологии диабетических сортов хлеба.* / И.В. Матвеева, А.Г. Утарова, Л.И. Пучкова и др. // М.: ЦНИИТЭИ Хлебопродуктов - 1991. - 44 с.
5. Сидоренко, Г.А. *Электроконтактный прогрев как один из способов выпечки хлебобулочных изделий.* / Г.А. Сидоренко, В.П. Попов, Д.И. Ялалетдинова, В.П. Ханин, Т.В. Ханина // *Хлебопечение России.* – 2013. - №1, – С. 14-17.
6. Сидоренко, Г.А. *Исследование особенностей выпечки бескоркового хлеба на основе системного подхода* / Г.А. Сидоренко, В.П. Попов, В.Л. Касперович // *Вестник ОГУ.* – 1999. - № 1. – С. 81-86.
7. Коротков, В.Г. *Математическое моделирование измельчения зерна ударно-стирающего действия.* / В.Г. Коротков, В.Ю. Полищук, С.В. Антимонов // *Техника в сельском хозяйстве* - 2007. - № 6.
8. Краснова, М.С. *Электроконтактная выпечка как объект автоматизации* / М.С. Краснова, Г.А. Сидоренко, В.П. Попов, А.Г. Зинюхина, Г.Б. Зинюхин // *Вестник Оренбургского государственного университета* – 2013. - № 1, С. 187-191.
9. Пат. 2506749 Россия, А21В1/00,1/22. *Устройство для выпечки хлеба* / Попов В.П., Ханин В.П., Сидоренко Г.А., Краснова М.С. № 2012140279/13 заявл. 20.09.2012 г.; Опубл. 20.02.2014г.