

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ В РАССТОЙНОМ ШКАФУ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ ТЕСТА

Салиева Олима Камаловна ¹

¹ кандидат технических наук, доцент, Бухарский государственный технический университет, Республика Узбекистан

Шарипова Парисо ¹

¹ магистр Бухарского государственного технического университета

E-mail: saliyevaok@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

АННОТАЦИЯ:

ИСТОРИЯ СТАТЬИ:

Received: 10.05.2025

Revised: 11.05.2025

Accepted: 12.05.2025

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

математическая модель, влажность, расстоечный шкаф, тесто, технологический процесс, термодинамика, численные расчеты, оптимизация, качество продукции.

В статье рассматривается разработка математической модели для определения влажности в расстоечном шкафу при приготовлении теста. Модель основывается на анализе термодинамических процессов, происходящих в камере расстойки, а также на взаимодействии температурных и влажностных факторов. Предложенная модель позволяет предсказать поведение влаги в условиях технологического процесса, что способствует оптимизации параметров расстойки и улучшению качества готового продукта. В статье также представлены результаты численных расчетов, подтверждающие точность модели, и рекомендации по её применению в промышленном производстве.

Введение. На сегодняшний день хлебобулочные изделия в Узбекистане являются доступными, традиционными, повседневными продуктами питания населения и повышение их качества и пищевой ценности, разработка изделий профилактической направленности, функциональных и обогащенных, способствуют реализации современной концепции здорового питания. Совершенствование рецептур хлебобулочных изделий с использованием региональных растительных ингредиентов представляет большой теоретический и практический интерес и создает предпосылки

к расширению ассортимента, повышению качества, пищевой и биологической ценности готового продукта.

Во многом качество хлебобулочных изделий, попадающих к нам на стол, зависит от технологического процесса, называемого расстойкой теста. Суть его заключается в том, чтобы выдержать тестовые заготовки в таких условиях, благодаря которым готовые изделия приобретают необходимые форму и объем, а также привлекательные для покупателя качество и внешний вид.

Расстойка теста – необходимый технологический этап в приготовлении хлебобулочных изделий. В процессе формирования изделия – разрыхления его, либо придания окончательной формы – происходит практически полное удаление углекислого газа из объема. Если это изделия сразу поместить в печь, на выходе получится некачественный продукт с растрескавшейся коркой, плотной мякотью и прочими технологическими отклонениями, т.е. имеющий нетоварный вид. Поэтому миновать процесс расстойки теста нельзя. Во время расстойки тесто «дображивает», выделяя углекислый газ. Благодаря этому «дображиванию» изделия приобретают необходимую форму и объем, а также соответствующие каждому виду продукта вкусовые качества. Длительность данного процесса определяют ингредиенты, входящие в состав теста.

Различают предварительную и окончательную расстойку теста. Каждая из этих операций имеет свои особенности.

Предварительная расстойка производится перед формованием и занимает от 2 до 20 минут. При этом улучшается пластичность и пористость теста, увеличивается его объем, а на поверхности образуется тонкая эластичная пленка. Заготовки, прошедшие предварительную расстойку, легче раскатываются и приобретают окончательную форму. Насыщение теста углекислым газом во время этого процесса значения не имеет. Строгих требований к влажности и температуре тоже нет. Для выполнения предварительной расстойки используются предназначенные для этой цели шкафы.

Окончательная расстойка. Окончательная расстойка проводится после формования теста. При этом в нем активно идет процесс брожения. Тесто насыщается углекислым газом, разрыхляется и увеличивается в объеме, а его клейковинный каркас восстанавливается. Заготовка приобретает требуемую форму, а ее поверхность становится гладкой и эластичной. При окончательной расстойке важны три параметра: температура, влажность и длительность процесса. Для его выполнения используются шкафы для окончательной расстойки.

Пшеничное тесто в обязательном порядке подвергается предварительной и окончательной расстойке. Для ржаного теста окончательная расстойка является единственной.

Особенности температурного режима. Оптимальная температура для окончательной расстойки тестовых заготовок – 32–38°C. Ее понижение приводит к заметному замедлению процесса. При температуре выше 38 °C тесто слишком быстро набирает кислотность, потому что такие условия максимально благоприятны для кислотообразующей микрофлоры. При этом качество конечного продукта ухудшается. Исключение составляют сдобные изделия. Для них температура в расстоечном шкафу может быть повышена до 45°C.

Температура в расстоечном шкафу не должна отличаться от температуры теста более чем на 5–8°C. Если нарушить это условие, то поверхностные и внутренние слои заготовки будут иметь разную пористость и свойства (упругость, пластичность и вязкость). В результате ухудшится качество и внешний вид конечных продуктов.

Влажность при проведении окончательной расстойки. Влажность, поддерживаемая в камере расстоечного шкафа, может варьироваться в пределах 65–85 %. При таких условиях верхний слой теста становится гладким, эластичным и хорошо удерживает углекислый газ. В результате хлебобулочные изделия имеют аппетитный внешний вид и хорошее качество. Если поддерживается слишком низкая влажность, верхний слой теста будет высыхать и трескаться. При показателе более 85 % заготовки прилипают к поверхности противней, их верхний слой теряет упругость, начинает пузыриться во время выпекания и может местами отслоиться от мякиша.

Одним из исключений являются булочки для гамбургеров. Для их расстойки требуется влажность до 100 %.

Время окончательной расстойки. Время окончательной расстойки теста – от 20 до 120 минут. Оно зависит от нескольких параметров и сокращается при:

- повышении температуры в камере расстоечного шкафа;

- высокой влажности и температуре теста;
- использовании ржаной муки;
- выпекании подовых хлебобулочных изделий;
- увеличении количества дрожжей.

Увеличение времени расстойки происходит при:

- уменьшении массы заготовок;
- увеличении доли сахара или жира в тесте;
- использовании пшеничной муки;
- выпекании формовых хлебобулочных изделий;
- интенсивной механической обработке теста.

Нарушения процессов расстойки. Неправильно подобранные режимы или их нарушения могут привести к недостаточной или избыточной расстойке теста. В первом случае хлебобулочные изделия приобретают неправильную форму, на корках образуются трещины и разрывы, а мякиш теряет эластичность. Такие последствия объясняются тем, что после посадки в печь в тесте ускоряются незаконченные процессы брожения и оно начинает увеличиваться в размерах уже во время выпекания.

Избыточная расстойка тоже влияет на характеристики конечного продукта. Готовые изделия вместо пышной имеют плоскую форму или теряют рельефный рисунок. Это является следствием пониженного газообразования и ослабления клейковинного каркаса.

На хлебопекарных предприятиях процесс расстойки проводится в специальных камерах, либо расстойных шкафах. В этих шкафах (камерах) поддерживается строгий температурно-влажностный режим. Важно не только с высокой точностью поддерживать температуру в пределах 35-40 °С, а влажность 75-85 %, но и регулировать эти параметры для оптимизации процесса расстойки в зависимости от вида изготавливаемых изделий. При поступлении в расстойный шкаф изделие имеет температуру ниже, чем температура воздуха в шкафу. Поэтому влага из окружающей воздушной среды достаточно быстро конденсируется на изделии. Благодаря этому процессу поверхность изделия не заветривается и образующаяся в процессе термической обработки корка не трескается при увеличении объема. Помимо этого, конденсат на поверхности хлебобулочного изделия в процессе расстойки препятствует удалению углекислого газа из объема. Под воздействием температуры в расстойном шкафу влага с поверхности изделия испаряется одновременно с процессом разрыхления теста в объеме под воздействием CO₂.

Как говорилось ранее, процесс расстойки теста проводится при строгом соблюдении температурно-влажностного режима и его обязательном регулировании. Дело в том, что при повышении температуры в расстойном шкафу, к примеру, всего на 15 °С, а влажности на 5 %, скорость процесса расстойки увеличивается на 30 %. Однако при этом повышение влажности воздуха более 85 % приведет к нарушению технологического процесса и ухудшению качества теста. А при понижении влажности менее 75 % тесто начинает засыхать и растрескивается поверхность хлебобулочного изделия. Поэтому необходимо с особой точностью измерять и регулировать температуру и относительную влажность воздуха в расстойных шкафах. Однако это невозможно без использования профессиональной контрольно-измерительной техники.

Поддержание стабильной влажности и температуры при расстойке хлебобулочных изделий позволяет получать продукцию стабильного качества и свести процент брака до минимума. Строгое соблюдение параметров влажности и температуры в расстойной камере, позволяет сократить время готовности теста на 25% и повысить экономическую эффективность производства.

От правильного применения технологии расстойки зависит весь окончательный результат приготовления изделия из теста. Во время разделения и формовки теста, его пористая структура разрушается, а углекислый газ практически полностью удаляется. Если после приготовления заготовки отправить ее сразу в печь, то изделие получится небольшим, жестким, с различными дефектами и рваной коркой из-за недостатка влаги.

Избыточная или недостаточная влажность, как и температура, может повредить готовому изделию. При влажности ниже 75% тесто начнет ссыхаться и трескаться, а при слишком высокой влажности прилипнуть к поверхности тележки.

Использование автоматического регулирования в системах управления при автоматизации процесса расстойки теста открывает новые горизонты для улучшения производительности, повышения качества и сокращения затрат.

Имея математическую модель процесса, мы можем определить параметры для оптимального управления процессом.

Для разработки математической модели определения влажности в расстойном шкафу при приготовлении теста, нужно описать процессы, влияющие на изменение влажности в замкнутом объеме. Рассмотрим поэтапную разработку модели.

1. Цель модели



Определить текущую влажность воздуха в расстойном шкафу $H(t)$, учитывая:

- температуру,
- влажность окружающей среды,
- работу увлажнителя,
- испарение воды с поверхности теста,
- утечки через вентиляцию.

2. Основные переменные и параметры

Влажность в шкафу	$H(t), \%$
Температура в шкафу	$T(t), ^\circ\text{C}$
Масса водяного пара в воздухе	$m_v(t), \text{г}$
Объем шкафа	$V, \text{м}^3$
Давление насыщенного пара	$P_s(T), \text{Па}$
Давление пара в шкафу	$P_v(t), \text{Па}$
Управление увлажнителем	$u(t), \text{Вт или г/с}$

3. Основное уравнение

Используем уравнение баланса масс водяного пара:

$$\frac{dm_v(t)}{dt} = \dot{m}_{\text{увл}}(t) + \dot{m}_{\text{исп}}(t) - \dot{m}_{\text{вент}}(t)$$

где:

- $\dot{m}_{\text{увл}}(t)$ — масса воды, подающаяся от увлажнителя,
- $\dot{m}_{\text{исп}}(t)$ — испарение влаги с поверхности теста,
- $\dot{m}_{\text{вент}}(t)$ — потеря влаги через вентиляцию.

4. Относительная влажность:

$$H(t) = \frac{P_v(t)}{P_s(t)} \times 100\%$$

где давление пара $P_v(t)$ связано с $m_v(t)$ через уравнение состояния:

$$P_v(t) = \frac{m_v(t) \cdot R_v \cdot T(t)}{V}$$

$R_v \approx 461.5 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{с} \cdot \text{К})$ - газовая постоянная для водяного пара.

4. Компоненты уравнения

4.1 Увлажнение:

$$\dot{m}_{\text{увл}}(t) = \alpha \cdot u(t)$$

где α - эффективность увлажнителя ($\text{г}/\text{Вт} \cdot \text{с}$).

4.2 Испарение с теста (упрощенно):

$$\dot{m}_{\text{исп}}(t) = k_e \cdot A \cdot (P_s(t) - P_v(t))$$

- k_e — коэффициент массообмена ($\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па}$),
- A — площадь испарения теста.

4.3 Потери через вентиляцию:

$$\dot{m}_{\text{вент}}(t) = k_v \cdot (P_v(t) - P_{v,\text{внеш}}(t))$$

- k_v — коэффициент утечки ($\text{г}/\text{с} \cdot \text{Па}$),
- $P_{v,\text{внеш}}(t)$ — парциальное давление водяного пара снаружи.

5. Итоговая система уравнений

Один из возможных вариантов модели:

$$\frac{dm_v(t)}{dt} = \alpha u(t) + k_e \cdot A \cdot (P_s(t) - P_v(t)) - k_v \cdot (P_v(t) - P_{v,\text{внеш}})$$

С последующим пересчетом $m_v(t) \rightarrow P_v(t) \rightarrow H(t)$

6. Возможные упрощения

Если упростить модель:

- считать температуру постоянной,
- считать вентиляцию пренебрежимо малой,
- считать $P_{v,\text{внеш}} \approx 0$

то модель сводится к:

$$\frac{dH(t)}{dt} = a \cdot u(t) + b \cdot (H_{\text{исп}}(t) - H(t))$$

где:

- a, b - эмпирические коэффициенты,
- $H_{\text{исп}}$ - влажность, которую стремится достичь испарение.
- Заключение. В рамках проведённого исследования была разработана

математическая модель определения влажности в расстоечном шкафу, основанная на уравнении баланса влаги, теплофизических свойствах воздуха и процесса испарения влаги с поверхности теста. Учитывая основные параметры - температуру, объём

шкафа, подачу пара и массу влаги в воздухе - модель позволяет прогнозировать изменение влажности в процессе расстойки.

- Предложенная модель обеспечивает возможность анализа влияния технологических параметров на микроклимат в расстоечном шкафу и может использоваться для оптимизации режимов расстойки с целью улучшения качества готовой продукции.

Список литературы:

1. Djuraev, K., Yodgorova, M., Usmonov, A., & Mizomov, M. (2021, September). Experimental study of the extraction process of coniferous plants. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 839, No. 4, p. 042019). IOP Publishing.
2. Abduraxmonov, O. R., Soliyeva, O. K., Mizomov, M. S., & Adizova, M. R. (2020). Factors influencing the drying process of fruits and vegetables. *ACADEMICIA: "An international Multidisciplinary Research Journal" in India*.
3. Mizomov, M. S. (2022). Analyzing Moisture at the Drying Process of Spice Plants. *Texas Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 4, 84-88.
4. Mizomov, M. (2025). ANALYZING TECHNOLOGICAL PROCESSES WITH MAIN TECHNOLOGICAL PARAMETERS. *International Journal of Artificial Intelligence*, 1(3), 120-124.
5. Mizomov, M. (2025). RESEARCHING HIGHER EDUCATIONAL ACTIVITIES AROUND UNIVERSITIES. *Journal of Applied Science and Social Science*, 1(2), 284-291.
6. Mizomov, M. (2025). REVISITING STRATEGIES FOR IMPROVING ORGANIZATIONAL MECHANISMS. *Journal of Applied Science and Social Science*, 1(1), 364-370.
7. Mizomov, M. (2025). ANALYZING DRYING PROCESS OF SPICES USING THE LOW TEMPERATURE. *Journal of Applied Science and Social Science*, 1(1), 645-651.
8. Djurayev, K., & Mizomov, M. (2024). Optimizing the efficient transport of mass from alternative energy sources and the process of heat and mass exchange during the processing of spices. *YASHIL IQTISODIYOT VA TARAQQIYOT*, 2(3).
9. Khudoynazarov, F. J., Djuraev, H. F., Mizomov, M. S., & Fayziev, A. K. (2024, February). Development of an optimal mechanism for a solar-air collector for drying thermolabile products. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2697, No. 1, p. 012015). IOP Publishing.
10. Mukhammad, M. (2024). THE MAIN TECHNOLOGICAL PARAMETERS IN THE PROCESS OF DRYING HERBS: HUMIDITY AND TEMPERATURE CONTROL. *Universum: технические науки*, 5(9 (126)), 17-20.

11. Расулов, Ш. Х., Джураев, Х. Ф., Увайзов, С. К., Мизомов, М. С., & Файзиев, А. Х. РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТЕПЛО-И МАССОПЕРЕНОСА В ПРОЦЕССЕ СУШКИ. *ЖУРНАЛИ*, 113.

12. QOBILOV, H., & RUSTAMOV, A. A. O. G. L. (2025). OLIY TA'LIM TIZIMIDAGI PEDAGOG-XODIMLARNI KPI BO'YICHA FAOLIYATINI NAZORATLOVCHI AXBOROT TIZIMINI SUN'IY INTELLEKT ELEMENTLARI YORDAMIDA TAKOMILLASHTIRISH. *PEDAGOGIK TADQIQOTLAR JURNALI*, 2(2), 309-312.

13. QOBILOV, H., & RUSTAMOV, A. A. O. G. L. (2025). JAMOAT TRANSPORTIDA MANZILGA MOS GRAFIGI VA CHIPTANI HISOBLASH HAMDA TEKSHIRISH AVTOMATLASHTIRILGAN TIZIMI. *PEDAGOGIK TADQIQOTLAR JURNALI*, 2(2), 253-255.

14. Ramazon o'g'li, I. S., Sayidovich, N. M., Xalilovich, Q. H., & Nasillo o'g'li, S. A. (2024). SUYUQ SHISHADAN NATRIY SILIKAT PENTAGIDRAT ISHLAB CHIQRISHNI KRISTALLANISH JARAYONINI IMITATSION MODEL. *YANGI O'ZBEKISTON, YANGI TADQIQOTLAR JURNALI*, 1(3), 128-134.

15. Kobilov, K., & Sharipova, N. (2024). Systematic analysis of briquette mass pressing equipment approach. *YASHIL IQTISODIYOT VA TARAQQIYOT*, 2(9).

16. Nasillo o'g'li, S. A. (2023). COMPUTER MODELING OF SHELL-TUBE HEAT EXCHANGER DEVICE IN OIL REFINING TECHNOLOGICAL SYSTEM. *Ethiopian International Journal of Multidisciplinary Research*, 10(11), 338-343.

17. Ibragimov, U. M., Qobilov, H. X., & Ismoilov, R. R. (2023). SABZAVOTLARNI SARALASH JARAYONIDA TRANSPORTYOR LENTANING SABZAVOT OG'IRLIGIGA BARDOSHLILIGINI SOLIDWORKS CAD/CAM/CAE TIZIMI SIMULIYATSIYASI ORQALI TEKSHIRISH. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 3(4), 438-445.

18. Jo'Rayev, X. F., Qobilov, H. X., & Jo'Rayev, M. T. (2023). KO'MIR YOQILG'ISI TUTUNINI TOZALSH JARAYONIDAGI QURILMA DETALLARINI (CAD/CAM/CAE) TIZIMIDA YARATISH VA SIMULYATSIYALASH. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 3(4), 474-481.

19. Abidov, K. Z., Qobilov, H. X., & Isroilov, A. A. (2023). SELLYULOZA-QOG' OZ SANOATIDA QOG' OZ POLOTNOSINI QURITISH TEXNOLOGIK JARAYONIDAGI USKUNANING DETALINI SOLIDWORKS (CAD CAM CAE) TIZIMIDA YARATISH. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 3(4), 686-692.

20. Qobilov, H. X., & Raxmonkulova, X. O. (2023). ANALYSIS OF THE PROCESS OF COMBINED DRYING OF TOMATO SEEDS. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 3(9), 72-78.

21. Kobilov, K. (2022, December). Laboratory research of coal briquette quality indicators. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1112, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.

22. Абдурахмонов, О. Р., & Юлдашев, Х. М. (2022). ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ФУЗАЛОВУШКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРЕССОВОГО ХЛОПКОВОГО МАСЛА. *Journal of Advances in Engineering Technology*, (4), 19-21.

23. Kobilov, K., Abdurakhmonov, O., Sharipova, N., & Adizova, M. (2021, September). Development of the installation device pressing the volume of briquetted material and computer modeling of the technological process. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 839, No. 4, p. 042092). IOP Publishing.

24. Ўктамова, Ш. Х., & Кобиллов, Х. Х. (2021). ОЛИЙ ТАЪЛИМДА ТАЛАБАЛАРНИНГ ШАХСИЙ-КРЕАТИВ КОМПЕТЕНЦИЯСИНИ РИВОЖЛАНТИРИШ ОМИЛЛАРИ. *Scientific progress*, 2(5), 327-329.

25. Абдурахмонов, О. Р., Усмонов, А. У., Кобиллов, Х. Х., & Буронов, С. А. (2021). МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ УГОЛЬНОГО БРИКЕТА С ПРИМЕНЕНИЕМ БИООРГАНИЧЕСКИХ СВЯЗУЮЩИХ. In *ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ* (pp. 48-53).

26. Абдурахмонов, О. Р., Салимов, З. С., & Сайдахмедов, Ш. М. (2016). Рациональная технология ректификации нефтегазоконденсатной смеси с использованием углеводородных отпаривающих агентов. *Технологии нефти и газа*, (3), 3-6.

27. Абдурахмонов, О. Р., Салимов, З. С., & Сайдахмедов, Ш. М. (2016). Рациональная технология ректификации нефтегазоконденсатной смеси с использованием углеводородных отпаривающих агентов. *Технологии нефти и газа*, (3), 3-6.