

**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН  
ДОНИШКАДАИ ОМУЗГОРИИ  
ТОҶИКИСТОН ДАР ШАҲРИ ПАНҶАКЕНТ**

**ВАЗОРАТИ МАЪЛУМОТИ ОЛӢ, ИЛМ ВА ИННОВАЦИЯИ ҶУМҲУРИИ  
ЎЗБЕКИСТОН  
ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ БУХОРО**



**ПАЁМИ ДОНИШКАДА  
ТАФАККУРИ ТАЪРИХ  
АНВОРИ ИЛМ**

**№1 - 2025**

\*\*\*

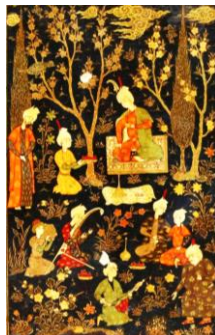
**ВЕСТНИК ИНСТИТУТА  
ПОЗНАНИЕ ИСТОРИИ  
СВЕТОЧ НАУКИ**

**№1 - 2025**

**BULLETIN OF THE INSTITUTE  
KNOWLEDGE OF HISTORY  
LIGHT OF SCIENCE**

**№1 - 2025**

**Нашри махсус/Специальное издание/Special edition**



**Бухоро-Панҷакент-2025  
[https:// Dotpanj.tj](https://Dotpanj.tj)**

ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН  
ДОНИШКАДАИ ОМУЗГОРИИ  
ТОҶИКИСТОН ДАР ШАҲРИ ПАНҶАКЕНТ  
ВАЗОРАТИ МАЪЛУМОТИ ОЛӢ, ИЛМ ВА ИННОВАТСИЯИ ҶУМҲУРИИ  
ЎЗБЕКИСТАН  
ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ БУХОРО

ПАЁМИ ДОНИШКАДА  
ТАФАККУРИ ТАЪРИХ  
АНВОРИ ИЛМ

№1- 2025

\*\*\*

ВЕСТНИК ИНСТИТУТА  
ПОЗНАНИЕ ИСТОРИИ  
СВЕТОЧ НАУКИ

№1 - 2025

BULLETIN OF THE INSTITUTE  
KNOWLEDGE OF HISTORY  
LIGHT OF SCIENCE

№1 - 2025

Нашри махсус/Специальное издание/Special edition

Бухоро-Панҷакент-2025  
[https:// Dotpanj.tj](https://Dotpanj.tj)



**МУАССИС:**

Донишкадаи омӯзгории  
Тоҷикистон дар ш.Панҷакент,  
Ректор Ансорӣ М.Қ.

ПАЁМИ ДОНИШКАДА/ ТАФАККУРИ  
ТАЪРИХ/ АНВОРИ ИЛМ. №1 – 2025. – 375 с.  
ВЕСТНИК ИНСТИТУТА/ ПОЗНАНИЕ  
ИСТОРИИ/ СВЕТОЧ НАУКИ. №1 – 2025. – 375  
с.  
BULLETIN OF THE INSTITUTE/  
KNOWLEDGE OF HISTORY /LIGHT OF  
SCIENCE. №1 – 2025. – 375 s.

Нашри махсус/Специальное издание/Special  
editio

Баъзе фикр ва хулосаҳои дар маҷалла омада бо  
нуқтаи назари таҳририят соғор наомаданаши  
мумкин аст. Барои дурустии иқтибос, ҳавола,  
пайнавиштҳои дараҷаи илмӣ, услуб ва баёни  
мақолаҳо муаллифҳо масъуланд.

Мнение редколлегии не всегда совпадает с  
мнением авторов. За достоверность цитат и  
ссылок, научный уровень, стилистику статей  
ответственны авторы.

The opinion of the editorial board does not always  
coincide with the opinion of the authors.  
The authors are responsible for the reliability of  
Citations and references, the scientific level, and the  
style of the articles.

Дар вазорати фарҳанги Ҷумҳурии Тоҷикистон  
аз 10.04.2023 ба қайд гирифта шудааст  
(№1283/МҚ-97, №284/МҚ-97, №285/МҚ-97)

**Сардабир:**

Воҳидов Шодмон, д.и.т., профессор  
Муҳаррири масъул:  
Шарифова Гулпарӣ, н.и.филол, дотсент

Котиби масъули шумора:  
Тулқин Расулов (Донишгоҳи давлатии  
Бухоро)

**Манзил:**

735500, Ҷумҳурии Тоҷикистон, вилояти  
Суғд, ш.Панҷакент, хиёбони Рӯдакӣ – 106. t-  
mail: ramir555@inbox.ru  
735500, Ҷумҳурии Тоҷикистон,  
Вилояти Суғд, ш. Панҷакент, хиёбони Рӯдакӣ  
106. Донишкадаи омӯзгории Тоҷикистон дар  
ш.Панҷакент.

ИНН-60001265; МФО – 350101626  
Кор.счёт-20402972316264  
Расч.счёт – 20406840100006234000  
Амонатбанк Донишкадаи омӯзгории  
Тоҷикистон дар ш.Панҷакент,  
Тел: (+992) 92 768 16 66; (+992) 93 793 71 23  
Веб-сайт: [www.dotpanj.tj](http://www.dotpanj.tj) E-mail: [tou@bk.ru](mailto:tou@bk.ru)  
Ректор: Ансорӣ Муаззамхон Қудратзода

**ХАЙАТИ ТАҲРИРӢ/РЕДАКЦИОННАЯ  
КОЛЛЕГИЯ:**

Раҳмонзода А., академик, Сафири Мухтор ва  
Фавқулодаи Ҷумҳурии Тоҷикистон дар  
Ҷумҳурии Ўзбекистон  
Азамат З., академики АФ Ҷумҳурии Ўзбекистон  
Аминов Б., д.ф.т., профессор (Ўзбекистон)  
Бадриддинов С., н.и.т. дотсент (Ўзбекистон)  
Бекова Н.Қ. д.ф.филол., профессор (Ўзбекистон)  
Бокӣ Набиҷон, нависанда (Ўзбекистон)  
Ғаффоров Ш.С. д.ф.т., профессор (Ўзбекистон)  
Ғойибов Б.С., д.ф.т., профессор (Ўзбекистон)  
Джумаев М.И., н.ф.пед., профессор (Ўзбекистон)  
Жумаев У.С., д.ф.равон. (Ўзбекистон)  
Замонов А. Т., д.ф.т., профессор (Ўзбекистон)  
Исакова М.С. д.ф.т., профессор (Ўзбекистон)  
Қобулов Э.О., д.ф.т., профессор (Ўзбекистон)  
Қурбонов Ш. Ф. н.и.бостон., профессор  
(Тоҷикистон)  
Лурье П.Б., д.ф.филол. (Россия)  
Мирзаев Н. М., д.ф.т., профессор (Ўзбекистон)  
Мирзаева Н.Қ. н.ф.т., дотсент (Ўзбекистон)  
Мирзоиҷонус М.М.д.ф.ф., профессор (Тоҷикистон)  
Муминов А.Қ., т.ф.д.профессор (Туркия)  
Наврӯзова Г.Н. д.ф.фал., профессор (Ўзбекистон)  
Накқош И., нависанда ва шоир (Тоҷикистон)  
Намозов Б.Б., д.ф.т., (Ўзбекистон)  
Нормуродова Г.Б. д.ф.т., профессор (Ўзбекистон)  
Очилов А. Т., д.ф.т., (Ўзбекистон)  
Пулатов М.Э., д.ф. икт., профессор (Ўзбекистон)  
Расулов Т.Х., Dsc аз фанни физика -математика,  
профессор (Ўзбекистон)  
Рахимов Н., д.ф.т., профессор (Тоҷикистон)  
Резван Е., д.ф.т.профессор. (Россия)  
Саидов И.М., д.ф.т.профессор (Ўзбекистон)  
Сангирова Д.Қ. н.ф.т. дотсент (Ўзбекистон)  
Сафаров Т. Т., ф.н.дотсент  
Ҷумаев Р.Ғ., Dsc аз фанни педагогика, профессор  
(Ўзбекистон)  
Ражабов Т.И., д.ф.пед, профессор (Ўзбекистон)  
Рефаат Хусейн, доктори фанҳои филологӣ,  
профессор (Миср)  
Шодиева Ш., PhD аз фанни таърих, дотсент  
(Ўзбекистон)  
Эргашев Ж.Ю. PhD аз фанни таърих, дотсент  
(Ўзбекистон)  
Эркинов А. С., д.ф.филол., профессор  
(Ўзбекистон)  
Эркинова Н.Э. PhD аз фанни филология  
(Ўзбекистон)  
Эрназаров Ф.Н., д.ф.т. профессор (Ўзбекистон)  
Эшов Б.Дж, д.ф.т., профессор (Ўзбекистон)  
Эшонкулов И., н.ф.ф., дотсент (Ўзбекистон)

Нашри махсус  
Специальный выпуск  
Special edition

© ДОТП, “Анвори илм”, соли 2025.

3. Переход на новый инновационный технологический уклад в энергетике и оптимизация его социально-экономического воздействия на народное хозяйство.

#### Литература

1. Перспективы развития мировой энергетики. – М.: ИНЭИ РАН, 2011.
2. Постановление Правительства Р.Т. «Долгосрочная программа строительства малых электростанций на период 2009-2020 годов»
3. Хузмиев И. Регулирование энергетических естественных монополий и энергоменеджмент, в двух томах, Ремарко, Владикавказ, 2001.
4. Хузмиев И.К., Регулирование энергетических естественных монополий и энергоменеджмент, Научные труды ВЭО, том 42, 2003.



**Нормахмад Равшанов,**  
профессор Научно-исследовательский институт развития цифровых  
технологий и искусственного интеллекта  
e-mail: [ravshanzade-09@mail.ru](mailto:ravshanzade-09@mail.ru)

**Шадманов Истам,**  
доцент Бухарского государственного университета  
e-mail: [i.u.shadmanov@buxdu.uz](mailto:i.u.shadmanov@buxdu.uz)

**Адизова Зухро**  
аспирант Бухарского государственного  
университета  
e-mail: [zuhroadizova096@gmail.com](mailto:zuhroadizova096@gmail.com)

#### **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОВЛАГООБМЕНА ПРИ ХРАНЕНИИ НЕОДНОРОДНЫХ ПОРИСТЫХ ТЕЛ С УЧЕТОМ ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ**

**Аннотация.** В статье рассматривается многомерная математическая модель процессов тепло- и влагопереноса при хранении зерна с учетом внутренних и внешних факторов, а также воздействия вредителей. Для решения поставленной задачи разработана неявная разностная схема со вторым порядком точности по пространственным переменным, с помощью которой можно проводить численные расчеты на вычислительной системе.

**Ключевые слова:** математическая модель, численный алгоритм, разностные схемы, тепло- и влагоперенос, пористая среда.

#### **GO'VAK JISMLARNI SAQLASH JARAYONIDA ICHKI VA TASHQI OMILLARNI HISOBGA OLGAN HOLDA ISSIQLIK VA NAMLIK UZATISH JARAYONLARINI SONLI TAHLILI**

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada donni saqlash jarayonida issiqlik va namlik uzatish jarayonlarining ko'p o'lchovli matematik modeli ko'rib chiqiladi, bunda ichki va tashqi omillar hamda zararkunandalarning ta'siri inobatga olingan. Masalani yechish uchun fazoviy o'zgaruvchilarda ikkinchi tartibli aniqlikka ega bo'lgan yopiq ayirma sxemasi ishlab chiqilgan bo'lib, uning yordamida hisoblash tizimida sonli hisob-kitoblarni amalga oshirish mumkin.

**Kalit soʻzlar:** donni saqlash, issiqlik va namlik uzatish, matematik model, yopiq ayirma sxemalari, zararkunandalar.

## NUMERICAL STUDY OF HEAT AND MOISTURE TRANSFER PROCESSES DURING STORAGE OF HETEROGENEOUS POROUS BODIES TAKING INTO ACCOUNT INTERNAL AND EXTERNAL FACTORS

**Annotation.** The article considers a multidimensional mathematical model of heat and moisture transfer processes during grain storage, taking into account internal and external factors, as well as the impact of pests. To solve the problem, an implicit difference scheme with the second order of accuracy in spatial variables has been developed, with the help of which it is possible to carry out numerical calculations on a computing system.

**Keywords:** grain storage, heat and moisture transfer, mathematical model, implicit difference schemes, pests.

**Введение.** Перенос тепла и влаги при хранении зерна играет решающую роль в поддержании качества продукции и продлении срока хранения. На эти процессы существенное влияние оказывают внутренние и внешние факторы, такие как температура окружающей среды, уровень влажности, циркуляция воздуха и условия окружающей среды. Кроме того, деятельность вредителей может негативно влиять на качество и объем продукции, внося дополнительное тепло и влагу. В данной статье основное внимание уделяется разработке многомерной математической модели, которая точно описывает процессы переноса тепла и влаги при хранении зерна, и созданию современного программного обеспечения на основе этой модели. Данный подход направлен на повышение эффективности хранения зерна путем учета влияния внутренних и внешних факторов, а также воздействия вредителей.

В статье [1] изучена роль неоднородности в процессах конвективного тепло- и массообмена в пористых средах. Исследователи проанализировали распределение тепла и влаги в гетерогенных средах, обладающих различными физическими и химическими свойствами. Особое внимание уделено изменению транспортных процессов в материалах с неравномерной структурой.

В работе [2] анализируется влияние различных методов сушки на семена тыквы, что позволяет сделать важные выводы о хранении и переработке пищевых продуктов. Выбор оптимальных параметров сушки позволяет снизить энергозатраты и улучшить качество продукции.

В статье [3] анализируются математические модели, разработанные для сушки бананов. Эти модели полезны для более эффективного управления и оптимизации процесса сушки. Кроме того, они помогают определять распределение тепла и влаги, а также способствуют производству сухих продуктов.

Статья [4] посвящена углубленному исследованию процессов тепло- и влагопереноса при хранении зерновых продуктов, а также моделированию этих процессов. Подчеркивается важность управления условиями хранения с целью сохранения качества продукции и минимизации потерь. В статье рассматриваются вопросы мониторинга и прогнозирования в современных технологиях хранения зерновых культур и продуктов их переработки, анализируются основные факторы, влияющие на процессы тепло- и влагопереноса.

В научно-исследовательской работе [5] разработана трехмерная математическая модель процессов тепло- и влагопереноса в пористых телах, учитывающая влаго- и теплообмен с окружающей средой, и создано эффективное численное решение для решения задач влаго- и теплопереноса с использованием точной конечно-разностной схемы со вторым порядком точности по времени и пространственным переменным. На основе разработанного численного алгоритма создано программное обеспечение для исследования процессов тепло- и влагопереноса при хранении и сушке пористых тел, позволяющее определять и

прогнозировать изменение температуры и влажности в любой точке пористых изделий различных размеров.

В статье [6] авторы представляют математическую модель для прогнозирования процессов тепло- и влагопереноса, а также результаты вычислительных экспериментов, выполненных с использованием ЭВМ. Разработанная модель учитывает такие факторы, как выделение тепла и влаги из пористого природного материала, а также изменение температуры и влажности окружающей среды. Разработанное программное обеспечение позволяет прогнозировать изменение температуры и влажности в произвольных точках пористых тел, подвергающихся воздействию солнечного излучения.

Более того, была изучена разработка гибридных моделей, которые интегрируют различные механизмы сушки. В работе [7] представляются модель гибридной сушилки с псевдоожиженным слоем и инфракрасным излучением, которая объединяет традиционные уравнения тепло- и массопереноса с эффектами инфракрасного нагрева, демонстрируя универсальность математического моделирования в адаптации к новым технологиям сушки. Такой подход не только повышает точность прогнозов относительно содержания влаги, но и оптимизирует процесс сушки, учитывая несколько режимов теплопередачи.

Важным аспектом является также использование численных методов для решения уравнений, описывающих процессы тепло- и влагопереноса. Например, в работе [8] рассматриваются методы регуляризации в обратных динамических задачах, что может быть применимо для улучшения точности моделирования процессов в пористых средах. Это подчеркивает необходимость разработки эффективных численных алгоритмов, способных учитывать сложные взаимодействия в неоднородных системах.

В дополнение к численному моделированию были также разработаны аналитические модели для описания процесса сушки. Например, в работа [9] подчеркивается быструю теплопроводность внутри зерен по сравнению с поглощением влаги, предполагая, что температуру можно считать равномерной по всему зерну в процессе сушки. Это упрощение позволяет более просто моделировать теплопередачу, что может иметь решающее значение для разработки эффективных систем сушки.

Многомерная математическая модель процессов тепло- и влагопереноса при хранении зерновых продуктов с учетом внутренних и внешних факторов, а также вредителей, а также разработка численных алгоритмов и программного обеспечения для контроля и анализа этих процессов имеет решающее значение для обеспечения длительного качественного хранения этой продукции. Процессы тепло- и влагопереноса могут существенно влиять на качество, количество и характеристики хранения зерна и зерновых продуктов.

**Обсуждение. Постановка задачи.** Открытые зернохранилища имеют прямоугольную форму и взаимодействуют с внешней средой. Предлагаемая математическая модель описывает динамику температурно-влажностного состояния зерновой массы с учетом внутреннего теплообмена, влажности и воздействия вредителей на основе уравнений переноса тепла и влаги:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( a_e \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( a_e \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( a_e \frac{\partial T}{\partial z} \right) + g + g_p; \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_e \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_e \frac{\partial Q}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_e \frac{\partial Q}{\partial z} \right) + Q_p; \quad (2)$$

с начальными

$$T(x, y, z, \tau)|_{\tau=0} = T_0; \quad Q(x, y, z, \tau)|_{\tau=0} = Q_0; \quad (3)$$

и граничными условия

$$\mu \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = \psi_1 (T - T_t); \quad \mu \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \psi_1 (T - T_t); \quad (4)$$

$$\mu \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=L_y} = \psi_1 (T - T_t); \quad \mu \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=L_y} = \psi_1 (T - T_t); \quad (5)$$

$$\mu \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=L_z} = 0; \quad \mu \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=L_z} = \psi_1 (T - T_t); \quad (6)$$

$$\omega \frac{\partial Q}{\partial x} \Big|_{x=0} = \psi_2 (Q - Q_t); \quad \omega \frac{\partial Q}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \psi_2 (Q - Q_t); \quad (7)$$

$$\omega \frac{\partial Q}{\partial y} \Big|_{y=0} = \psi_2 (Q - Q_t); \quad \omega \frac{\partial Q}{\partial y} \Big|_{y=L_y} = \psi_2 (Q - Q_t); \quad (8)$$

$$\omega \frac{\partial Q}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0; \quad \omega \frac{\partial Q}{\partial z} \Big|_{z=L_z} = \psi_2 (Q - Q_t). \quad (9)$$

Здесь  $T$  и  $Q$  – значения температуры и влаги пористого тела;  $a_e$  – эффективная тепловая диффузия, зависящая от содержания влаги  $Q$ ;  $g = g(T, Q)$  – функция, которая может представлять внешние или внутренние источники/поглотители тепла (возможно, зависящие от температуры и влажности);  $g_p = g_p(T, Q)$  – учитывает влияние вредителей на теплопередачу;

$D_e = D_e(Q)$  – эффективная диффузия для переноса влаги, которая зависит от содержания влаги  $Q$ ;  $Q_p = Q_p(T, Q)$  – термин, связанный с вредителями, влияющий на перенос влаги;  $\mu$  – коэффициент теплопроводности;  $\omega$  – коэффициент влагопроводности;  $\psi_1$  – коэффициент теплоотдачи;  $T_t$  – температура окружающей среды;  $\psi_2$  – коэффициент влагоотдачи;  $Q_t$  – влажность окружающей среды.

Взаимосвязь между влажностью  $Q$  и температурой  $T$  можно описать с помощью:

$$Q(T) = Q_0 + kT;$$

где  $Q_0$  – начальная влажность,  $k$  – коэффициент влияния температуры на влажность.

Уравнение теплопередачи включает зависимость от влажности через  $a_e(Q)$ , аналогично уравнение переноса влаги зависит от температуры  $T$  через  $D_e(Q)$  и источник  $Q_p(T, Q)$ . Это создает систему связанных частных дифференциальных уравнений для  $T$  и  $Q$ , где каждое зависит друг от друга. Предложенная модифицированная математическая модель описывает сопряженный процесс теплопередачи и переноса влаги, где температура влияет на перенос влаги через эффективную диффузию  $D_e(Q(T))$ , а содержание влаги влияет на теплопередачу через  $a_e(Q(T))$ .

**Метод решения задачи.** Сложность аналитического решения дифференциальных уравнений при определении модели обусловлена ее физическими и математическими свойствами. Поэтому для решения задачи необходимо использовать численные методы и вычислительные технологии. Для решения задачи (1–9) используем неявный метод конечных разностей со вторым порядком аппроксимации [10]. Введем пространственно-временную сетку:

$$\Omega_{xyz\tau} = \left\{ (x_m = m\Delta x, y_l = l\Delta y, z_k = k\Delta z, \tau_n = n\Delta\tau) \right\};$$

$$m = \overline{1, N_x}; l = \overline{1, M_y}, k = \overline{1, L_z}, n = \overline{0, N_\tau}, \Delta\tau = 1/N_\tau \}.$$

Дифференциальные операторы в уравнении (1) заменяются разностными операторами по  $Ox$  и получим:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \frac{T_{m,l,k}^{n+1/3} - T_{m,l,k}^n}{\Delta\tau/3} + \frac{1}{2} \frac{T_{m+1,l,k}^{n+1/3} - T_{m+1,l,k}^n}{\Delta\tau/3} = \\ & = \frac{1}{\Delta x^2} (a_{em+0,5,l,k} T_{m+1,l,k}^{n+\frac{1}{3}} - (a_{em+0,5,l,k} + a_{em-0,5,l,k}) T_{m,l,k}^{n+\frac{1}{3}} + \\ & + a_{em-0,5,l,k} T_{m-1,l,k}^{n+\frac{1}{3}}) + \frac{1}{\Delta y^2} (a_{em,l+0,5,k} T_{m,l+1,k}^n - (a_{em,l+0,5,k} + a_{em,l-0,5,k}) T_{m,l,k}^n + \\ & + a_{em,l-0,5,k} T_{m,l-1,k}^n) + \frac{1}{\Delta z^2} (a_{em,l,k+0,5} T_{m,l,k+1}^n - (a_{em,l,k+0,5} + a_{em,l,k-0,5}) T_{m,l,k}^n + \\ & + a_{em,l,k-0,5} T_{m,l,k-1}^n) + \frac{1}{3} G_{m,l,k}^{n+\frac{1}{3}} + \frac{1}{3} G_{p,m,l,k}^{n+\frac{1}{3}}; \end{aligned}$$

и группируя похожие элементы, получаем:

$$\begin{aligned} & \frac{a_{e,m-0,5,l,k}}{\Delta x^2} T_{m-1,l,k}^{n+1/3} - \frac{a_{e,m+0,5,l,k} + a_{e,m-0,5,l,k}}{\Delta x^2} T_{m,l,k}^{n+1/3} + \\ & - \frac{3}{2\Delta\tau} T_{m,l,k}^{n+1/3} + \left( \frac{a_{e,m+0,5,l,k}}{\Delta x^2} - \frac{3}{2\Delta\tau} \right) T_{m+1,l,k}^{n+1/3} = \\ & = - \left( \frac{3}{2\Delta\tau} - \frac{a_{e,m,l+0,5,k} + a_{e,m,l-0,5,k}}{\Delta y^2} \right) T_{m,l,k}^n - \\ & - \frac{1}{\Delta\tau} T_{m+1,l,k}^n - \frac{a_{e,m,l+0,5,k}}{\Delta y^2} T_{m,l+1,k}^n - \frac{a_{e,m,l-0,5,k}}{\Delta y^2} T_{m,l-1,k}^n - \left( \frac{3}{2\Delta\tau} - \frac{a_{e,m,l,k+0,5} + a_{e,m,l,k-0,5}}{\Delta z^2} \right) T_{m,l,k}^n - \\ & - \frac{3}{2\Delta\tau} T_{m+1,l,k}^n - \frac{a_{e,m,l,k+0,5}}{\Delta z^2} T_{m,l,k+1}^n - \\ & - \frac{a_{e,m,l,k-0,5}}{\Delta z^2} T_{m,l,k-1}^n - \frac{1}{2} G_{m,l,k}^{n+1/3} - \frac{1}{2} G_{p,m,l,k}^{n+1/3}. \end{aligned}$$

Введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned} a_{T,m,l,k} &= \frac{a_{e,m-0,5,l,k}}{\Delta x^2}; \\ b_{T,m,l,k} &= \frac{a_{e,m+0,5,l,k} + a_{e,m-0,5,l,k}}{\Delta x^2} + \frac{3}{2\Delta\tau}; \\ c_{T,m,l,k} &= \frac{a_{e,m+0,5,l,k}}{\Delta x^2} - \frac{3}{2\Delta\tau}; \\ d_{T,m,l,k} &= \frac{3}{2\Delta\tau} T_{m,l,k}^n + \frac{3}{2\Delta\tau} T_{m+1,l,k}^n + \\ & + \frac{a_{e,m,l+0,5,k} T_{m,l+1,k}^n - (a_{e,m,l+0,5,k} + a_{e,m,l-0,5,k}) T_{m,l,k}^n}{\Delta y^2} + \\ & + \frac{a_{e,m,l-0,5,k} T_{m,l-1,k}^n}{\Delta y^2} + \frac{a_{e,l,j,k+0,5} T_{m,l,k+1}^n}{\Delta z^2} + \\ & + \frac{-(a_{e,m,l,k+0,5} + a_{e,m,l,k-0,5}) T_{m,l,k}^n + a_{e,m,l,k-0,5} T_{m,l,k-1}^n}{\Delta z^2} + \end{aligned}$$



$$+ \frac{1}{3} G_{m,l,k}^{n+1/3} + \frac{1}{3} G_{p,m,l,k}^{n+1/3},$$

получаем систему из трех диагональных алгебраических уравнений:

$$a_{T,1,l,k} T_{0,l,k}^{n+1/3} - b_{T,1,l,k} T_{1,j,k}^{n+1/3} + c_{T,1,l,k} T_{2,l,k}^{n+1/3} = -d_{T,1,l,k}. \quad (10)$$

Далее аппроксимируем первое уравнение граничного условия (4) и по  $Ox$  получим:

$$\mu \frac{-3T_{0,l,k}^{n+1/3} + 4T_{1,l,k}^{n+1/3} - T_{2,l,k}^{n+1/3}}{2\Delta x} = -\psi_1 (T_t - T_{0,l,k}^{n+1/3}). \quad (11)$$

Из системы уравнений (10) при  $m=1$  получим:

$$a_{T,1,l,k} T_{0,l,k}^{n+1/3} - b_{T,1,l,k} T_{1,l,k}^{n+1/3} + c_{T,1,l,k} T_{2,l,k}^{n+1/3} = -d_{T,1,l,k}. \quad (12)$$

Подставляя  $T_{2,l,k}^{n+1/3}$  (12) в (11), находим  $T_{0,l,k}^{n+1/3}$ :

$$T_{0,l,k}^{n+1/3} = \frac{4\mu c_{T,1,l,k} - b_{T,1,l,k} \mu}{3\mu c_{T,1,l,k} - a_{T,1,l,k} \mu + 2\Delta x \psi_1 c_{T,1,l,k}} T_{1,l,k}^{n+1/3} + \frac{d_{T,1,l,k} \mu + 2\Delta x \psi_1 c_{T,1,l,k} T_t}{3\mu c_{T,1,l,k} - a_{T,1,l,k} \mu + 2\Delta x \psi_1 c_{T,1,l,k}};$$

где текущие коэффициенты  $\alpha_{T,0,l,k}, \beta_{T,0,l,k}$  рассчитываются с использованием:

$$\alpha_{T,0,l,k} = \frac{4\mu c_{T,1,l,k} - b_{T,1,l,k} \mu}{3\mu c_{T,1,l,k} - a_{T,1,l,k} \mu + 2\Delta x \psi_1 c_{T,1,l,k}};$$

$$\beta_{T,0,l,k} = \frac{d_{T,1,l,k} \mu + 2\Delta x \psi_1 c_{T,1,l,k} T_t}{3\mu c_{T,1,l,k} - a_{T,1,l,k} \mu + 2\Delta x \psi_1 c_{T,1,l,k}}.$$

Аналогично, аппроксимируя второе уравнение граничного условия (4) по  $Ox$ , получим:

$$\mu \frac{T_{N-2,l,k}^{n+1/3} - 4T_{N-1,l,k}^{n+1/3} + 3T_{N,l,k}^{n+1/3}}{2\Delta x} = -\psi_1 (T_t - T_{N,l,k}^{n+1/3}). \quad (13)$$

Применяя метод прогонки к последовательности для  $N, N-1$  и  $N-2$ , находим  $T_{N-1,l,k}^{n+1/3}$  и  $T_{N-2,l,k}^{n+1/3}$ :

$$T_{N-1,l,k}^{n+1/3} = \alpha_{T,N-1,l,k} T_{N,l,k}^{n+1/3} + \beta_{T,N-1,l,k}; \quad (14)$$

$$T_{N-2,l,k}^{n+1/3} = \alpha_{T,N-2,l,k} \alpha_{T,N-1,l,k} T_{N,l,k}^{n+1/3} + \alpha_{T,N-2,l,k} \beta_{T,N-1,l,k} + \beta_{T,N-2,l,k} \quad (15)$$

Подставляя значение  $T_{N-1,l,k}^{n+1/3}, T_{N-2,l,k}^{n+1/3}$  в (13), находим  $T_{N,l,k}^{n+1/3}$ :

$$T_{N,l,k}^{n+1/3} = \frac{(4\beta_{T,N-1,l,k} - \alpha_{T,N-2,l,k} \beta_{T,N-1,l,k} - \beta_{T,N-2,l,k}) \mu}{\alpha_{T,N-2,l,k} \alpha_{T,N-1,l,k} \mu - 4\alpha_{T,N-1,l,k} \mu + 3\mu - 2\psi_1 \Delta x} - \frac{2\psi_1 \Delta x T_t}{\alpha_{T,N-2,l,k} \alpha_{T,N-1,l,k} \mu - 4\alpha_{T,N-1,l,k} \mu + 3\mu - 2\psi_1 \Delta x}. \quad (16)$$

Последовательность температур  $T_{N-1,l,k}^{n+1/3}, T_{N-2,l,k}^{n+1/3}, \dots, T_{1,l,k}^{n+1/3}$  определяется методом обратной прогонки путем уменьшения значения  $i$  последовательности:

$$T_{m,l,k}^{n+1/3} = \alpha_{T,m,l,k} T_{m+1,l,k}^{n+1/3} + \beta_{T,m,l,k}. \quad (17)$$

где  $i = \overline{N-1, 1}, j = \overline{0, M}, k = \overline{0, L}$ .

Аналогично уравнение (2) аппроксимируется  $Ox$  конечно-разностными соотношениями и получим:

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{2} \frac{Q_{m,l,k}^{n+1/3} - Q_{m,l,k}^n}{\Delta \tau / 3} + \frac{1}{2} \frac{Q_{m+1,l,k}^{n+1/3} - Q_{m+1,l,k}^n}{\Delta \tau / 3} = \\
 & = \frac{1}{\Delta x^2} (D_{em+0,5,l,k} Q_{m+1,l,k}^{n+\frac{1}{3}} - (D_{em+0,5,l,k} + D_{em-0,5,l,k}) Q_{m,l,k}^{n+\frac{1}{3}} + \\
 & + D_{em-0,5,l,k} Q_{m-1,l,k}^{n+\frac{1}{3}} + \frac{1}{\Delta y^2} (D_{em,l+0,5,k} Q_{m,l+1,k}^n - \\
 & - (D_{em,l+0,5,k} + D_{em,l-0,5,k}) Q_{m,l,k}^n + D_{em,l-0,5,k} Q_{m,l-1,k}^n) + \\
 & + \frac{1}{\Delta z^2} (D_{em,l,k+0,5} Q_{m,l,k+1}^n - (D_{em,l,k+0,5} + D_{em,l,k-0,5}) Q_{m,l,k}^n + \\
 & + D_{em,l,k-0,5} Q_{m,l,k-1}^n) + \frac{1}{3} Q_{p,m,l,k}^{n+\frac{1}{3}}.
 \end{aligned}$$

Группируя похожие элементы, получим:

$$\begin{aligned}
 & \frac{D_{e,m-0,5,l,k}}{\Delta x^2} Q_{m-1,l,k}^{n+1/3} - \frac{D_{e,m+0,5,l,k} + D_{e,m-0,5,l,k}}{\Delta x^2} Q_{m,l,k}^{n+1/3} + \\
 & - \frac{3}{2\Delta \tau} Q_{m,l,k}^{n+1/3} + \left( \frac{D_{e,m+0,5,l,k}}{\Delta x^2} - \frac{3}{2\Delta \tau} \right) Q_{m+1,l,k}^{n+1/3} = \\
 & = - \left( \frac{3}{2\Delta \tau} - \frac{D_{e,m,l+0,5,k} + D_{e,m,l-0,5,k}}{\Delta y^2} \right) Q_{m,l,k}^n - \\
 & - \frac{3}{2\Delta \tau} Q_{m+1,l,k}^n - \frac{D_{e,m,l+0,5,k}}{\Delta y^2} Q_{m,l+1,k}^n - \frac{D_{e,m,l-0,5,k}}{\Delta y^2} Q_{m,l-1,k}^n - \\
 & - \left( \frac{3}{2\Delta \tau} - \frac{D_{e,m,l,k+0,5} + D_{e,m,l,k-0,5}}{\Delta z^2} \right) Q_{m,l,k}^n - \\
 & - \frac{3}{2\Delta \tau} Q_{m+1,l,k}^n - \frac{D_{e,m,l,k+0,5}}{\Delta z^2} Q_{m,l,k+1}^n - \\
 & - \frac{D_{e,m,l,k-0,5}}{\Delta z^2} Q_{m,l,k-1}^n - \frac{1}{2} Q_{p,m,l,k}^{n+1/3}.
 \end{aligned}$$

Введем следующие обозначения:

$$a_{Q,m,l,k} = \frac{D_{e,m-0,5,l,k}}{\Delta x^2};$$

$$b_{Q,i,j,k} = \frac{D_{e,m+0,5,l,k} + D_{e,m-0,5,l,k}}{\Delta x^2} + \frac{3}{2\Delta \tau};$$

$$c_{Q,m,l,k} = \frac{D_{e,m+0,5,l,k}}{\Delta x^2} - \frac{3}{2\Delta \tau};$$

$$\begin{aligned}
 d_{Q,m,l,k} &= \frac{3}{2\Delta \tau} Q_{m,l,k}^n + \frac{3}{2\Delta \tau} Q_{m+1,l,k}^n + \frac{a_{e,m,l+0,5,k} Q_{m,l+1,k}^n}{\Delta y^2} + \\
 & + \frac{-(a_{e,m,l+0,5,k} + a_{e,m,l-0,5,k}) Q_{m,l,k}^n + a_{e,m,l-0,5,k} Q_{m,l-1,k}^n}{\Delta y^2} + \\
 & + \frac{a_{e,m,l,k+0,5} Q_{m,l,k+1}^n - (a_{e,m,l,k+0,5} + a_{e,m,l,k-0,5}) Q_{m,l,k}^n}{\Delta z^2} + \\
 & + \frac{a_{e,m,l,k-0,5} Q_{m,l,k-1}^n}{\Delta z^2} + \frac{1}{3} Q_{p,m,l,k}^{n+1/3},
 \end{aligned}$$

и получаем систему трехдиагональных алгебраических уравнений относительно искомых переменных:

$$a_{Q,1,l,k} Q_{0,l,k}^{n+1/3} - b_{Q,1,l,k} Q_{1,l,k}^{n+1/3} + c_{Q,1,l,k} Q_{2,l,k}^{n+1/3} = -d_{Q,1,l,k}. \quad (18)$$

Далее аппроксимируем первое уравнение граничного условия (8) со вторым порядком точности и по  $Ox$  получим:

$$\omega \frac{-3Q_{0,l,k}^{n+1/3} + 4Q_{1,l,k}^{n+1/3} - Q_{2,l,k}^{n+1/3}}{2\Delta x} = -\psi_2 (Q_t - Q_{0,l,k}^{n+1/3}). \quad (19)$$

Из системы уравнений (18) при  $m=1$  получаем:

$$a_{Q,1,l,k} Q_{0,j,k}^{n+1/3} - b_{Q,1,l,k} Q_{1,l,k}^{n+1/3} + c_{Q,1,l,k} Q_{2,l,k}^{n+1/3} = -d_{Q,1,l,k}. \quad (20)$$

Подставляя  $Q_{2,l,k}^{n+1/3}$  из (20) в (19), находим значение  $Q_{0,l,k}^{n+1/3}$ :

$$Q_{0,l,k}^{n+1/3} = \frac{4\omega c_{Q,1,l,k} - b_{Q,1,l,k} \omega}{3\omega c_{Q,1,l,k} - a_{Q,1,l,k} \omega + 2\Delta x \psi_2 c_{Q,1,l,k}} Q_{1,l,k}^{n+1/3} + \frac{d_{Q,1,l,k} \omega + 2\Delta x \psi_2 c_{Q,1,l,k} T_t}{3\omega c_{Q,1,l,k} - a_{Q,1,l,k} \omega + 2\Delta x \psi_2 c_{Q,1,l,k}}; \quad (21)$$

где из соотношения (21) определяются текущие коэффициенты с использованием:

$$\alpha_{Q,0,l,k} = \frac{4\omega c_{Q,1,l,k} - b_{Q,1,l,k} \omega}{3\omega c_{Q,1,l,k} - a_{Q,1,l,k} \omega + 2\Delta x \psi_2 c_{Q,1,l,k}};$$

$$\beta_{Q,0,l,k} = \frac{d_{Q,1,l,k} \omega + 2\Delta x \psi_2 c_{Q,1,l,k} T_t}{3\omega c_{Q,1,l,k} - a_{Q,1,l,k} \omega + 2\Delta x \psi_2 c_{Q,1,l,k}}.$$

Аналогично, аппроксимируя второе уравнение граничного условия (8) по  $Ox$  и получим:

$$\omega \frac{Q_{N-2,l,k}^{n+1/3} - 4Q_{N-1,l,k}^{n+1/3} + 3Q_{N,l,k}^{n+1/3}}{2\Delta x} = -\psi_2 (Q_t - Q_{N,l,k}^{n+1/3}). \quad (22)$$

Используя метод прогонки для последовательности  $N$ ,  $N-1$  и  $N-2$ , находим значение  $Q_{N-1,l,k}^{n+1/3}$  и  $Q_{N-2,l,k}^{n+1/3}$ :

$$Q_{N-1,l,k}^{n+1/3} = \alpha_{T,N-1,l,k} Q_{N,l,k}^{n+1/3} + \beta_{T,N-1,l,k}; \quad (23)$$

$$Q_{N-2,l,k}^{n+1/3} = \alpha_{Q,N-2,l,k} \alpha_{Q,N-1,l,k} Q_{N,l,k}^{n+1/3} + \alpha_{Q,N-2,l,k} \beta_{Q,N-1,l,k} + \beta_{Q,N-2,l,k}. \quad (24)$$

Подставляя  $Q_{N-1,l,k}^{n+1/3}$  из (26) и  $Q_{N-2,l,k}^{n+1/3}$  из (27) в (25), находим  $Q_{N,l,k}^{n+1/3}$ :

$$Q_{N,l,k}^{n+1/3} = \frac{(4\beta_{Q,N-1,l,k} - \alpha_{Q,N-2,l,k} \beta_{Q,N-1,l,k} - \beta_{Q,N-2,l,k}) \omega}{\alpha_{Q,N-2,l,k} \alpha_{Q,N-1,l,k} \omega - 4\alpha_{Q,N-1,l,k} \omega + 3\omega - 2\psi_2 \Delta x} - \frac{2\psi_2 \Delta x Q_t}{\alpha_{Q,N-2,l,k} \alpha_{Q,N-1,l,k} \omega - 4\alpha_{Q,N-1,l,k} \omega + 3\omega - 2\psi_2 \Delta x}.$$

Значения последовательности влажности  $Q_{N-1,l,k}^{n+1/3}, Q_{N-2,l,k}^{n+1/3}, \dots, Q_{1,l,k}^{n+1/3}$  определяется методом обратной прогонки путем уменьшения  $i$  последовательности:

$$Q_{m,l,k}^{n+1/3} = \alpha_{Q,m,l,k} Q_{m+1,l,k}^{n+1/3} + \beta_{Q,m,l,k},$$

где  $i = \overline{N-1, 1}, j = \overline{0, M}, k = \overline{0, L}$ .

Далее аналогично аппроксимируем уравнение (1) по  $Oy$ , затем уравнением (2) и получаем изменение температуры:

$$T_{m,M,k}^{n+2/3} = \frac{(4\bar{\beta}_{T,m,M-1,k} - \bar{\alpha}_{T,m,M-2,k}\bar{\beta}_{T,m,M-1,k} - \bar{\beta}_{T,m,M-2,k})\mu}{\bar{\alpha}_{T,m,M-2,k}\bar{\alpha}_{T,m,M-1,k}\mu - 4\bar{\alpha}_{T,m,M-1,k}\mu + 3\mu - 2\psi_1\Delta y} - \frac{2\psi_1\Delta y T_t}{\bar{\alpha}_{T,m,M-2,k}\bar{\alpha}_{T,m,M-1,k}\mu - 4\bar{\alpha}_{T,m,M-1,k}\mu + 3\mu - 2\psi_1\Delta y};$$

и изменение влажности:

$$Q_{m,M,k}^{n+2/3} = \frac{(4\bar{\beta}_{Q,m,M-1,k} - \bar{\alpha}_{Q,m,M-2,k}\bar{\beta}_{Q,m,M-1,k} - \bar{\beta}_{Q,m,M-2,k})\omega}{\bar{\alpha}_{Q,m,M-2,k}\bar{\alpha}_{Q,m,M-1,k}\omega - 4\bar{\alpha}_{Q,m,M-1,k}\omega + 3\omega - 2\psi_2\Delta y} - \frac{2\psi_2\Delta y T_t}{\bar{\alpha}_{Q,m,M-2,k}\bar{\alpha}_{Q,m,M-1,k}\omega - 4\bar{\alpha}_{Q,m,M-1,k}\omega + 3\omega - 2\psi_2\Delta y}.$$

Значения температуры  $T_{m,M-1,k}^{n+2/3}, T_{m,M-2,k}^{n+2/3}, \dots, T_{m,1,k}^{n+2/3}$  и влажности  $Q_{m,M-1,k}^{n+2/3}, Q_{m,M-2,k}^{n+2/3}, \dots, Q_{m,1,k}^{n+2/3}$  определяются последовательно методом обратной прогонки по убыванию значения индекса  $l$ :

$$T_{m,l,k}^{n+2/3} = \bar{\alpha}_{T,m,l,k} T_{m+1,l,k}^{n+2/3} + \bar{\beta}_{T,m,l,k} \quad \text{и}$$

$$Q_{m,l,k}^{n+2/3} = \bar{\alpha}_{Q,m,l,k} Q_{m+1,l,k}^{n+2/3} + \bar{\beta}_{Q,m,l,k};$$

где  $m = \overline{0, N}, l = \overline{M-1, 1}, k = \overline{0, L}$ .

Далее аналогично аппроксимируем уравнение (1) на  $O_z$ , затем уравнение (2) и получаем изменение температуры:

$$T_{m,l,L}^{n+1} = \frac{(4\bar{\beta}_{T,m,l,L-1} - \bar{\alpha}_{T,m,l,L-2}\bar{\beta}_{T,m,l,L-1} - \bar{\beta}_{T,m,l,L-2})\mu}{\bar{\alpha}_{T,m,l,L-2}\bar{\alpha}_{T,m,l,L-1}\mu - 4\bar{\alpha}_{T,m,l,L-1}\mu + 3\mu - 2\psi_1\Delta z} - \frac{2\psi_1\Delta z T_t}{\bar{\alpha}_{T,m,l,L-2}\bar{\alpha}_{T,m,l,L-1}\mu - 4\bar{\alpha}_{T,m,l,L-1}\mu + 3\mu - 2\psi_1\Delta z};$$

и изменение влажности:

$$Q_{m,l,L}^{n+1} = \frac{(4\bar{\beta}_{Q,m,l,L-1} - \bar{\alpha}_{Q,m,l,L-2}\bar{\beta}_{Q,m,l,L-1} - \bar{\beta}_{Q,m,l,L-2})\omega}{\bar{\alpha}_{Q,m,l,L-2}\bar{\alpha}_{Q,m,l,L-1}\omega - 4\bar{\alpha}_{Q,m,l,L-1}\omega + 3\omega - 2\psi_2\Delta z} - \frac{2\psi_2\Delta z Q_t}{\bar{\alpha}_{Q,m,l,L-2}\bar{\alpha}_{Q,m,l,L-1}\omega - 4\bar{\alpha}_{Q,m,l,L-1}\omega + 3\omega - 2\psi_2\Delta z}.$$

Значения температуры  $T_{m,l,L-1}^{n+1}, T_{m,l,L-2}^{n+1}, \dots, T_{m,1,L-1}^{n+1}$  и значения влажности  $Q_{m,l,L-1}^{n+1}, Q_{m,l,L-2}^{n+1}, \dots, Q_{m,1,L-1}^{n+1}$  последовательно определяются методом обратной подстановки путем уменьшения значения индекса  $j$  и получим:

$$T_{m,l,k}^{n+1} = \bar{\alpha}_{T,m,l,k} T_{m,l,k+1}^{n+1} + \bar{\beta}_{T,m,l,k} \quad \text{и}$$

$$Q_{m,l,k}^{n+1} = \bar{\alpha}_{Q,m,l,k} Q_{m,l,k+1}^{n+1} + \bar{\beta}_{Q,m,l,k};$$

где  $m = \overline{0, N}, l = \overline{0, M}, k = \overline{L-1, 1}$ .

Таким образом, были разработаны математическая модель и эффективный устойчивый численный алгоритм для изучения, контроля и прогнозирования тепло- и влагопереноса в процессах хранения и сушки зерна. Данная модель учитывает неопределенность пористой среды, тепло- и влагообмен с окружающей средой, суточные колебания солнечной радиации, а также внутреннее тепло и влаговыделение материала.

**Закключение.** По итогам в статье разработан многомерной математическая модель и численный алгоритм для исследования процессов тепло- и влагопереноса в примеры хранения



зерна. Модель учитывает внутренние и внешние факторы, в том числе воздействие вредителей.

Разработанная математическая модель позволяет оптимизировать процессы хранения зерна, проводить эффективные меры по борьбе с вредителями и точно прогнозировать распределение тепла и влаги. В дальнейшем предложенный математический аппарат можно адаптировать к различным условиям хранения зерновых продуктов и неоднородных пористых тел.

Данное исследование является важным шагом на пути совершенствования технологий хранения зерна и оптимизации сохранности сельскохозяйственной продукции.

### Литература:

1. Модал А. и др. Роль неоднородности в конвективном теплопереносе через пористые среды, Часть 1 //Технология сушки. – 2011. – Т. 29. – №. 5. – С. 536-542.
2. Sacilik K. Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) //Journal of food engineering. – 2007. – Т. 79. – №. 1. – С. 23-30.
3. Da Silva W. P. et al. Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas //Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. – 2014. – Т. 13. – №. 1. – С. 67-74.
4. Adizova Z., Shadmanov I. Mathematical modeling of heat and moisture exchange processes during grain storage // AIP Conference Proceedings. – 2024. – Vol. 020042. – DOI: 10.1063/5.0241493.
5. Shadmanov I., Shafiev T. Mathematical modeling of combined heat and moisture transfer processes during storage and drying of raw cotton / Edited by D. V. Rudoy et al. // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 431. – P. 01060. – DOI: 10.1051/e3sconf/202343101060.
6. Ravshanov N., Shadmanov I. U. Multidimensional model of heat and moisture transfer in porous media // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1546. – P. 012098. – DOI: 10.1088/1742-6596/1546/1/012098.
7. Nejadi J., Nikbakht A.M. Numerical Simulation of Corn Drying in a Hybrid Fluidized Bed-Infrared Dryer // J. Food Process Eng. 2017. Vol. 40, № 2. – DOI: doi.org/10.1111/jfpe.12373
8. Имомназаров Ш.Х. et al. Regularization in inverse dynamic problems for the equation of SH-waves in a porous medium // Владикавказский математический журнал. 2013. № 2.
9. Horrobin D.J., Landman K.A., Ryder L. Understanding Wheat Grain Steaming // Ind. Eng. Chem. Res. 2003. Vol. 42, № 17. P. 4109–4122. – DOI: doi.org/10.1021/ie0208725
10. Ravshanov N., et al. Modeling of pollutant dispersion in the atmosphere considering particle capture by vegetation elements // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2024. – Vol. 45, No. 3. – P. 1213–1226. – DOI: 10.1134/S1995080224600638.



**Аминов Фирӯз Шарифович,**  
**Корманди илми Муассисаи давлатии “Осорхонаи ҷумҳуриявии таърихия**  
**кишваршиносии ба номи Абӯабдуллоҳ Рӯдакии шаҳри Панҷакент”**  
**Email: [firuzaminov@gmail.com](mailto:firuzaminov@gmail.com)**

## Мундарица/оглавление

№№	Муаллиф	Номи мақола	саҳифа
1.	Ҳакимов С. У.	ПАЁМИ ПЕШВОИ МИЛЛАТ - ДУРНАМОИ РУШДИ ТОҶИКИСТОН	3
2.	Абдуллозода Н.	НАМОДИ ЗАН ДАР “ШОҲНОМА”И АБУЛҚОСИМ ФИРДАВСӢ	5
3.	Аминова М.Қ.	ФОЛКЛОРСАРОӢ ДАР ҶАШНУ МАРОСИМҲОИ ТОҶИКОН	9
4.	Абдусалехова М.	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ РАЗВИТИЯ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ ТАДЖИКИСТАНА	17
5.	Равшанов Н., Шадманов И., Адизова З.	ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОВЛАГООБМЕНА ПРИ ХРАНЕНИИ НЕОДНОРОДНЫХ ПОРИСТЫХ ТЕЛ С УЧЕТОМ ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ	20
6.	Аминов Ф.Ш.	ПАҶҶАКЕНТИ АСРҶОИ IX – АВВАЛИ XIII: ОМУӢЗИШИ БОСТОНШИНОСИИ ОН	30
7.	Safarov A., Amonova Sh., Eshimov R.	THE METHODOLOGY OF TEACHING MATHEMATICS IN GENERAL SECONDARY EDUCATION SCHOOLS WITH THE HELP OF PRACTICAL SOFTWARE	35
8.	Атоев Р. М.	«АРАБСКИЕ ПИСЬМЕННЫЕ НАСЛЕДИЯ В ГОСУДАРСТВЕННОМ УЧРЕЖДЕНИИ «РЕСПУБЛИКАНСКОМ ИСТОРИКО-КРАЕВЕДЧЕСКОМ МУЗЕЕ ИМЕНИ АБУАБДУЛЛО РУДАКИ ГОРОДА ПЕНДЖИКЕНТА»	45
9.	Ahmedova N. F.	XIVA ADABIY VA MADANIY JAROYONLARIDA JADIDLARNING TUTGAN OʻRNI	51
10.	Babayev O. A.	THE FUNCTIONS OF LITERARY TRANSLATION IN THE 21ST CENTURY	55
11.	Bozorova R. Sh.	BADIIY ONOMASTIKA VA UNDA GIDROPOETONIMLARNING QOʻLLANISHI	61
12.	Воҳидов Ш., Воҳидова Т.Ш.	“ТАЗКИРАТУЛ-ХАТТОТОН”-И МУҲАММАД ИДРИСҲУҶА РОҶИИ БУҲОРОӢ (Муқаддимаи баррасӣ ва таълими матн)	67
13.	Ғаниева М. И.	ҲИФОЗАТ ВА ТАРМИМИ АШӢИ ОСОРҶОНАВИИ САҶӢИ ВА ФУЛУӢӢ	122
14.	Ғойибов Б. С.	К ВОПРОСУ О ПРОИСХОЖДЕНИИ ГЛАВНОЙ ДИНАСТИИ СОГДИЙСКОЙ КОНФЕДЕРАЦИИ (тюрко-согдийский симбиоз)	127
15.	Gʻofforov Sh.	QATAGʻONGA UCHRAGAN JADID TARIXCHI OLIM (Poʻlat Soliyev)	134