

HISOBLASH VA AMALIY МАТЕМАТИКА MUAMMOLARI

ПРОБЛЕМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
PROBLEMS OF COMPUTATIONAL
AND APPLIED MATHEMATICS



RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VA
SUN'IY INTELLEKTNI RIVOJLANTIRISH
ILMIY-TADQIQOT INSTITUTI



RAQAMLI
TEXNOLOGIYALAR
MAKTABI

ПРОБЛЕМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

№ 2/2(66) 2025

Журнал основан в 2015 году.

Издается 6 раз в год.

Учредитель:

Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий и
искусственного интеллекта.

Главный редактор:

Равшанов Н.

Заместители главного редактора:

Азамов А.А., Арипов М.М., Шадиметов Х.М.

Ответственный секретарь:

Ахмедов Д.Д.

Редакционный совет:

Алоев Р.Д., Амиргалиев Е.Н. (Казахстан), Арушанов М.Л., Бурнашев В.Ф.,
Загребина С.А. (Россия), Задорин А.И. (Россия), Игнатьев Н.А.,
Ильин В.П. (Россия), Иманкулов Т.С. (Казахстан), Исмагилов И.И. (Россия),
Кабанихин С.И. (Россия), Карачик В.В. (Россия), Курбонов Н.М., Маматов Н.С.,
Мирзаев Н.М., Мухамадиев А.Ш., Назирова Э.Ш., Нормуродов Ч.Б.,
Нуралиев Ф.М., Опанасенко В.Н. (Украина), Расулмухамедов М.М., Расулов А.С.,
Садуллаева Ш.А., Старовойтов В.В. (Беларусь), Хаётов А.Р., Халджигитов А.,
Хамдамов Р.Х., Хужаев И.К., Хужаеров Б.Х., Чье Ен Ун (Россия),
Шабозов М.Ш. (Таджикистан), Dimov I. (Болгария), Li Y. (США),
Mascagni M. (США), Min A. (Германия), Schaumburg H. (Германия),
Singh D. (Южная Корея), Singh M. (Южная Корея).

Журнал зарегистрирован в Агентстве информации и массовых коммуникаций при
Администрации Президента Республики Узбекистан.

Регистрационное свидетельство №0856 от 5 августа 2015 года.

ISSN 2181-8460, eISSN 2181-046X

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

За точность фактов и достоверность информации ответственность несут авторы.

Адрес редакции:

100125, г. Ташкент, м-в. Буз-2, 17А.

Тел.: +(998) 712-319-253, 712-319-249.

Э-почта: journals@airi.uz.

Веб-сайт: <https://journals.airi.uz>.

Дизайн и вёрстка:

Шарипов Х.Д.

Отпечатано в типографии НИИ РЦТИИ.

Подписано в печать 25.04.2025 г.

Формат 60x84 1/8. Заказ №4. Тираж 100 экз.

PROBLEMS OF COMPUTATIONAL AND APPLIED MATHEMATICS

No. 2/2(66) 2025

The journal was established in 2015.
6 issues are published per year.

Founder:

Digital Technologies and Artificial Intelligence Development Research Institute.

Editor-in-Chief:

Ravshanov N.

Deputy Editors:

Azamov A.A., Aripov M.M., Shadimetov Kh.M.

Executive Secretary:

Akhmedov D.D.

Editorial Council:

Aloev R.D., Amirgaliev E.N. (Kazakhstan), Arushanov M.L., Burnashev V.F.,
Zagrebina S.A. (Russia), Zadorin A.I. (Russia), Ignatiev N.A., Ilyin V.P. (Russia),
Imankulov T.S. (Kazakhstan), Ismagilov I.I. (Russia), Kabanikhin S.I. (Russia),
Karachik V.V. (Russia), Kurbonov N.M., Mamatov N.S.,
Mirzaev N.M., Mukhamadiev A.Sh., Nazirova E.Sh., Normurodov Ch.B., Nuraliev F.M.,
Opanasenko V.N. (Ukraine), Rasulov A.S., Sadullaeva Sh.A., Starovoitov V.V. (Belarus),
Khayotov A.R., Khaldjigitov A., Khamdamov R.Kh., Khujaev I.K., Khujayorov B.Kh.,
Chye En Un (Russia), Shabozov M.Sh. (Tajikistan), Dimov I. (Bulgaria), Li Y. (USA),
Mascagni M. (USA), Min A. (Germany), Schaumburg H. (Germany), Singh D. (South
Korea), Singh M. (South Korea).

The journal is registered by Agency of Information and Mass Communications under the
Administration of the President of the Republic of Uzbekistan.

The registration certificate No. 0856 of 5 August 2015.

ISSN 2181-8460, eISSN 2181-046X

At a reprint of materials the reference to the journal is obligatory.
Authors are responsible for the accuracy of the facts and reliability of the information.

Address:

100125, Tashkent, Buz-2, 17A.

Tel.: +(998) 712-319-253, 712-319-249.

E-mail: journals@airi.uz.

Web-site: <https://journals.airi.uz>.

Layout design:

Sharipov Kh.D.

DTAIDRI printing office.

Signed for print 25.04.2025

Format 60x84 1/8. Order No. 4. Print run of 100 copies.

Содержание

<i>Anarova Sh.A., Uralova I.A.</i>	
Analysis of box-counting dimension sequences in AI-generated fractals	7-15
<i>Khakimov M., Bekova V.</i>	
Computer translation from English to Uzbek: new mathematical models for nouns	16-26
<i>Kuziev Sh.S.</i>	
Approximation of definite integrals with numerical method	27-33
<i>Muhamediyeva D.T., Raupova M.H.</i>	
Immun algoritmi asosida elektron raqamli imzo shakllantirish algoritmi	34-43
<i>Nazirova E.Sh., Mahmudova M.M., Karabayeva X.A.</i>	
Iqlim o'zgarishi sharoitida filtratsiya jarayonining chegaraviy masalasini sonli modellash tirish	44-50
<i>Nuraliyev F.M., Salimov S.S., Ibodullayev S.N.</i>	
Geometric projection methods for preprocessing road images in intelligent pavement quality diagnosis systems	51-53
<i>Ravshanov N., Nabieva I.S., Boborakhimov B.I.</i>	
Software for predicting the spread of harmful substances in the atmosphere, taking into account their type and wind speed	54-59
<i>Sulyukova L.F., Axmedjanova Z.I.</i>	
Evolutionary approach to solving a transport problem with genetic algorithms	60-69
<i>Ravshanov N., Usmonov L.</i>	
Multidimensional mathematical model for monitoring and forecasting the process of underground leaching in a porous medium	70-75
<i>Yakhshiboev M.U., Karimov M.M.</i>	
Computational algorithm and program for solving the problem of the nonlinear groundwater filtration process	76-82
<i>Ravshanov N., Tashtemirova N.N.</i>	
Sanoat hududlari havo havzasini holatini bashoratlash uchun chang hamda mayda dispersli aerosol zarrachalarining cho'kish tezligi ta'sirini tadqiq qilish	83-89
<i>Джумаёзов У.З., Курбонов Н.М., Шарилов Х.Д.</i>	
Неравномерные сетки при моделировании динамических термопластических процессов	90-98
<i>Равшанов Н., Садуллаев С.</i>	
Моделирование нестационарного движения подземных вод в слоистых средах с напорно-безнапорным режимом фильтрации .	99-108

<i>Курбонов Н.М., Хакназарова Д.О., Муродуллаев Б.Т.</i>	
Математическое моделирование фильтрационных процессов подземных вод для мониторинга и прогноза солевой концентрации в зонах орошаемых территорий	109-118
<i>Мухамедиева Д.Т., Раупова М.Х.</i>	
Квантовый алгоритм нахождения скрытого сдвига и решения уравнения Пелля	119-126
<i>Равшанов Н., Шадманов И.У., Адизова З.М.</i>	
Программное обеспечение для исследования процессов тепловлагообмена при хранении пористых тел	127-131
<i>Убайдуллаев М.Ш., Мурадов Ф.А., Туркменова Р.Т.</i>	
Параллельный алгоритм расчета концентрации радиоактивных примесей в атмосфере	132-143
<i>Azimov B.M., Norqulov J.Sh.</i>	
Avtomatlashtirilgan sinash stendining paxta terish mashinasi pnevmotizimi ventilyatorining gidromotorli yuritmasi harakatini optimal boshqarish algoritmi	144-152
<i>Maxmudov R.Z., Sulaymanov Sh.F.</i>	
Arduinoda suv tarkibini tekshirish mobil laboratoriya dasturiy ta'minotini ishlab chiqish	153-159
<i>Uchkunova D.N.</i>	
Management methods in information exchange processing	160-165
<i>Махмудов Р.З.</i>	
Инновационные подходы к мониторингу качества атмосферного воздуха	166-171
<i>Суюлкова Л.Ф., Иминж онова М.А., Джумаев С.Н.</i>	
Особенности построения математических моделей фрезерной обработки упругодеформированных осесимметричных деталей . .	172-181
<i>Kerimov K.F., Azizova Z.I.</i>	
Ensuring privacy in the digital age: an algorithmic approach to data de-identification and re-identification risks	182-186
<i>Mirzayev N., G'afforov N.Y.</i>	
Foydalanuvchini klaviatura bosish harakati orqali identifikatsiya qilish	187-192
<i>Nurullayev M.M.</i>	
Sun'iy intellekt yordamida post-kvant kriptografik kalitlarni generatsiyalash va boshqarish metodologiyasi	193-201

УДК 004.4

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОВЛАГООБМЕНА ПРИ ХРАНЕНИИ ПОРИСТЫХ ТЕЛ

¹*Равианов Н., ²Шадманов И.У., ^{2*}Адизова З.М.*

*zuhroadizova096@gmail.com

¹Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий и искусственного интеллекта, Ташкент, Узбекистан.

²Бухарский государственный университет, Ташкент, Узбекистан.

Аннотация. В статье представлена многомерная математическая модель и программное средство для исследования процессов тепло- и влагопереноса при хранении неоднородных пористых продуктов под воздействием природных факторов таких как влияние вредителей, температура и влажность окружающей среды. При этом разработанная модель на основе законов термодинамики учитывает активность вредителей и позволяет анализировать их влияние на распределение тепла и влаги.

Ключевые слова: математическая модель, тепло- и влагоперенос, хранение зерна, численный алгоритм, природные факторы, вредители.

1 Введение

При длительном хранении зерновых продуктов важно выявлять и контролировать процессы тепло- и влагопереноса. Природные факторы, влияющие на условия хранения: температура окружающей среды, относительная влажность, движение воздуха и микробиологические процессы — напрямую влияют на качество зерна. Если не учитывать эти факторы, качество зерна снизится из-за самосогревания, образования плесени и распространения вредителей. При хранении зерновых продуктов в открытых зернохранилищах тепло- и влагообмен напрямую связан с внешними факторами среды и оказывает существенное влияние на качество продукции.

Проблемой математического моделирования (ММ) процессов тепло- и влагоперенос в пористых средах занимались много ученых и ими получены значительные результаты фундаментального и прикладного характера.

В частности статья [1] 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.

Исследование [2] посвящено анализу процесса сушки бобов и кукурузных зерен, оценивая влияние температуры сушки и начального содержания влаги на кинетику сушки и транспортные свойства. В ходе исследования были изучены различные эмпирические модели и их соответствие экспериментальным данным, где наилучшее соответствие эмпирических моделей экспериментальным данным было достигнуто с помощью модели аппроксимации диффузии, а также моделей Нii, Law и Cloke. В работе для оценки распределения влаги внутри зерна использовалась модель с распределенными параметрами, где предложенная модель предсказала экспериментальные данные с общим отклонением около 10%.

В работе [3] разработана трехмерная ММ 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 [4] авторы представляют ММ 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.

В работе [5] предложена ММ для мониторинга и последующего прогнозирования концентрации вредных веществ, выбрасываемых природными источниками загрязнения, что позволило более точно прогнозировать уровень загрязнения окружающей среды и разрабатывать мероприятия по его снижению. Для решения данной модели и соответствующего численного алгоритма были проведены вычислительные эксперименты с реальными погодно-климатическими факторами, полученными в режиме онлайн.

В статье [6] авторы рассматривают многомерную ММ, численный алгоритм и программные средства для визуализации процессов тепло- и влагопереноса. На основе этой модели исследуются эффекты тепловыделения природных материалов, а также изменения температуры и влажности окружающей среды.

2 Методы

В данном исследовании для моделирования процессов тепло- и влагообмена при хранении зерна используется многомерный математический подход. Исследование учитывает теплообмен, распределение влаги и влияние внешних природных факторов на качество и состояние зерна.

2.1 Математическая модель

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:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \tau} = & \frac{\partial}{\partial x} \left(a_{eff}(Q(T)) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(a_{eff}(Q(T)) \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left(a_{eff}(Q(T)) \frac{\partial T}{\partial z} \right) + g(T, Q(T)) + g_{pest}(T, Q(T)); \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial \tau} = & \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{eff}(Q(T)) \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{eff}(Q(T)) \frac{\partial Q}{\partial y} \right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{eff}(Q(T)) \frac{\partial Q}{\partial z} \right) + Q_{pest}(T, Q(T)); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\mu \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = \psi_1 (T - T_{tash}); \quad \mu \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \psi_1 (T - T_{tash}); \quad (3)$$

$$\mu \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=L_y} = \psi_1 (T - T_{tash}); \quad \mu \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=L_y} = \psi_1 (T - T_{tash}); \quad (4)$$

$$\mu \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=L_z} = 0; \quad \mu \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=L_z} = \psi_1 (T - T_{tash}); \quad (5)$$

$$\omega \frac{\partial Q}{\partial x} \Big|_{x=0} = \psi_2 (Q - Q_{tash}); \quad \omega \frac{\partial Q}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \psi_2 (Q - Q_{tash}); \quad (6)$$

$$\omega \frac{\partial Q}{\partial y} \Big|_{y=0} = \psi_2 (Q - Q_{tash}); \quad \omega \frac{\partial Q}{\partial y} \Big|_{y=L_y} = \psi_2 (Q - Q_{tash}); \quad (7)$$

$$\omega \frac{\partial Q}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0; \quad \omega \frac{\partial Q}{\partial z} \Big|_{z=L_z} = \psi_2 (Q - Q_{tash}). \quad (8)$$

2.2 Вычислительный алгоритм

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. Это поможет оптимизировать процессы хранения и разработать эффективные меры борьбы с вредителями. Решения задачи (1–8) с использованием неявной конечно-разностной схемы со вторым порядком аппроксимации приведены в работах [7–9].

3 Результаты и обсуждение

Рассмотрены результаты использования предложенной математической трехмерной модели для моделирования процессов тепловлагообмена при хранении зерна, а также области ее применения. С помощью модели был проанализирован температурно-влажностный режим в зернохранилищах с учетом внутренних и внешних факторов, а также воздействия вредителей. Ниже приведены основные результаты исследования.

На рисунке 1 представлено интерфейс программы которое представляет собой вычислений математической модели. Пользователь может вводить различные параметры, связанные с моделью, такие как μ (μ), ω (ω), ψ_1 (ψ_1), T_{tash} и другие. После ввода значений, можно нажать кнопку "Рассчитать", чтобы получить результаты. В график включены две кривые: одна отображает температуру (T), другая — влажность (Q). Их значения отображены в зависимости от времени. Программное средство предназначен для упрощения вычислений математических моделей и их визуализации.

На рисунке 2 представлено распределение температуры с диапазоном значений от 20°C до 27 °C, что позволяет быстро оценить уровень температуры в различных зонах склада. Это крайне важно для управления климатом в помещении склада и оптимизации условий хранения зерна. График может помочь определить необходимость применения мер по контролю температуры, таких как вентиляция.

Рисунок 3 представляет собой 3D-визуализацию распределения влажности в зернохранилище. Она представлена с помощью цветного куба, где различные оттенки представляют изменение уровней влажности. Визуализация создана для того, чтобы показать, как влажность изменяется в объеме хранилища. Оси ширины и длины обозначены в метрах

(м). Это означает, что горизонтальные размеры хранилища составляют 8 на 8 метров, и показывает направление осей x и y на графике.

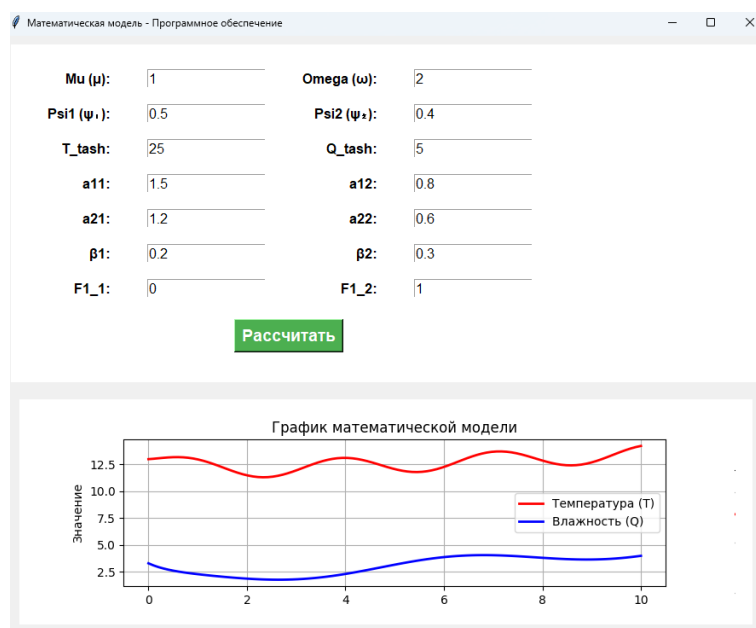


Рис. 1 Программный интерфейс

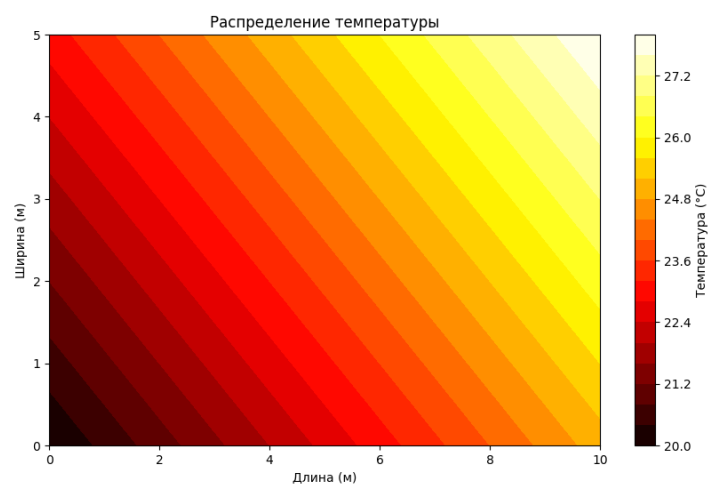


Рис. 2 Распределение температуры $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$, $T(x, y, z, 0) = 27^{\circ}\text{C}$

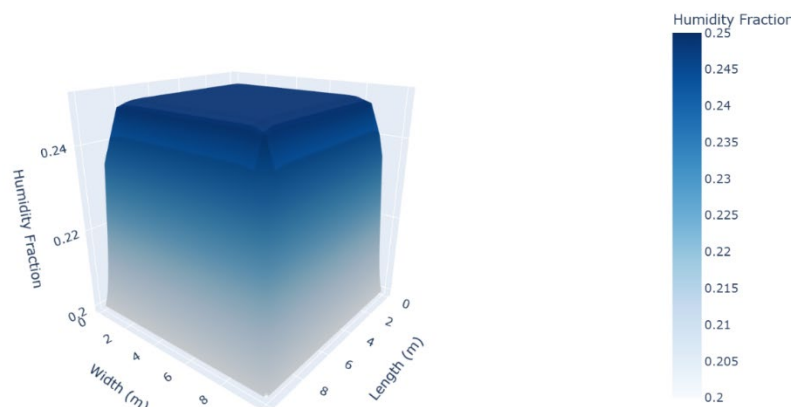


Рис. 3 3D-визуализация распределения влажности

4 Заключение

По итогам в статье проведен многомерной математическая модель и программное средство для исследования процессов тепло- и влагопереноса при хранении 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 данная модель может быть доработана для адаптации к различным типам хранилищ и различным зерновым продуктам. 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 тепломассопереносе 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] *Ravshanov N., Shadmanov I., et al.* Mathematical modeling and study of heat and moisture transfer processes in porous media / Edited by D. Bazarov // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 264. – P. 01038. – DOI: 10.1051/e3sconf/202126401038.
- [8] *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.
- [9] *Ravshanov N., Nazarov Sh., et al.* Development of a mathematical model for the distribution of aerosol particles in the near-surface atmospheric layer, considering surface heterogeneity // AIP Conference Proceedings. – 2024. – Vol. 060004. – DOI: 10.1063/5.0200769.