

ЎЗБЕКИСТОН RESPUBLIKASI FANLAR АКАДЕМИЯСИ
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

МЕХАНИКА
МУАММОЛАРИ

ЎЗБЕКИСТОН
JURNALI

1
2024

УЗБЕКСКИЙ
ЖУРНАЛ

ПРОБЛЕМЫ
МЕХАНИКИ

Журнал под таким названием издается с января 1992 г.

Ташкент – 2024

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор – докт. физ.-мат. наук, проф. К.С. СУЛТАНОВ
Заместитель главного редактора – докт. физ.-мат. наук Р.А. АБИРОВ
Заместитель главного редактора – PhD Н.А. НИШОНОВ
Ответственный секретарь – PhD М.М. ХАМДАМОВ

Абдикаримов Р.А. д.ф.-м.н., проф. (Ташкент)	Мирсаидов М. д.т.н., проф., акад. АН РУз (Ташкент)
Абдусаттаров А. д.т.н., проф. (Ташкент)	Мухаммадиев Д.М. д.т.н., проф. (Ташкент)
Азимов Д. д.т.н., проф. (США)	Панахов Г.М. д.т.н., проф., член.-корр. НАНА (Баку)
Алдошин Н.В. д.т.н., проф. (Москва)	Паровик Р. д.ф.-м.н. (Петропавловск-Камчатский)
Алимухамедов Ш.П. д.т.н., проф. (Ташкент)	Ризаев А.А. д.т.н., проф. (Ташкент)
Ахмедов А.Б. д.ф.-м.н., проф. (Ташкент)	Сагдиев Х.С. к.т.н. (Ташкент)
Бахадиров Г.А. д.т.н., проф. (Ташкент)	Сирождидинов З. д.т.н., проф. (Самарканд)
Быковцев А.С. д.ф.-м.н., проф. (США)	Старовойтов Э.И. д.ф.-м.н. (Гомель, Беларусь)
Ватин Н.И. д.т.н., проф. (Санкт-Петербург)	Тохилов Ш.М. к.ф.-м.н. (США)
Дусматов О.М. д.ф.-м.н., проф. (Самарканд)	Тухтакузиев А.Т. д.т.н., проф. (Ташкент)
Зубарев А.Ю. д.ф.-м.н., проф. (Екатеринбург)	Юлдашев Ш.С. д.т.н., проф. (Наманган)
Исмоилова С.И. д.т.н., проф. (Ташкент)	Худайкулиев Р.Р. к.т.н. (Ташкент)
Казанцев С.П. д.т.н., проф. (Москва)	Хужаев И.К. д.т.н., проф. (Ташкент)
Кузнецов С.В. д.ф.-м.н., проф. (Москва)	Хужаёров Б.Х. д.ф.-м.н., проф. (Самарканд)
Маликов З.М. д.т.н., проф. (Ташкент)	Хусанов Б.Э. д.т.н. (Ташкент)
Мамасаидов М.Т. д.т.н., проф., акад. НАН КР (Ош)	Шардаков И.Н. д.ф.-м.н., проф. (Пермь)
Мардонов Б.М. д.ф.-м.н., проф. (Ташкент)	Эргашов М. д.т.н., проф. (Ташкент)
Матвеев В.П. д.т.н., проф., акад. РАН (Пермь)	Ювмитов А.С. PhD (Ташкент)

Адрес редакции:

100125, Ташкент, Академгородок, Дурмон йули, 33.
Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева АН РУз

Телефон: +99871 262-78-34

Факс: +99871 262-71-52

E-mail: instmechofficial@gmail.com

Технический редактор: Михайлова В.В.

Журнал зарегистрирован Агентством по печати и информации Республики Узбекистан 22.12.2006 г.
Регистрационный номер 0050.

Номер одобрен на заседании редакционной коллегии журнала 07.06.2023

Сдано в набор 01.08.2023. Подписано в печать 07.09.2023.

Формат 60×84 1/8. Гарнитура Times New Roman. Ризография.

Усл.- печ. л. 6.5. Уч.-изд. л. 6.82. Тираж 130. Заказ № 701.

Цена договорная.

Отпечатано в Минитипографии АН РУз:
100047, г. Ташкент, ул. акад. Я. Гулямова, 70.

© Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева АН РУз, 2024 г.

Норқўзиев О.С. Вертикал шпинделли пахта териш апаратынинг епи ва гипоциклик айланишининг кинематик таҳлили.

Аннотация: Мақола вертикал шпинделли пахта териш апаратынинг ишчи камерасида шпинделларининг епи ва гипоциклик айланиш ҳаракатини ўрганишга бағишланган бўлиб, ечқичларнинг ечиш зўнасида оптимал жойлаштириш ва иш пайтида шпинделнинг сирти билан максимал контакт қилиш жараёнини ўрганиш. Аналитик геометрия ва мураккаб текис-параллел ҳаракатнинг кинематикаси усуллари асосида пахта териш апаратынинг ишчи камерасида шпиндел ҳаракат траекториясини ҳисоблашнинг умумлаштирилган моделини ишлаб чиқиш, бу еса иш жараёнида шпиндел ҳаракат траекториясини таҳлил қилиш имконини берди. MathCAD дастури ёрдамида пахта териш машинаси ишининг берилган тезлик режимларида шпиндел сиртини пахтадан ва унинг фаол компонентида тозалаш учун шпиндел тишлари ва ечқичларнинг ҳаракат қонуниятларини тавсифловчи графиклар тузилган.

Калим сўзлар: пахта териш машинаси; иш камераси; барабан; шпиндел; епи ва гипосиклик айланиш; траектория; бурчак тезлиги; ечкичнинг контакт чуқурлиги.

Norkoziev O.S. Computational analysis of kinematics with epi and hypocyclic rotation of vertical spindle cotton picker.

Abstract: The article is devoted to the study of the epi- and hypocyclic rotation of the spindles in the working chamber of the vertical spindle cotton picker, to study the process of optimal placement of the goats in the undressing zone and maximum contact with the surface of the spindle during operation. Development of a generalized model for calculating the spindle movement trajectory in the working chamber of the cotton picking machine based on the methods of analytical geometry and complex plane-parallel motion kinematics, which allowed to analyze the spindle movement trajectory during the work process. Using the MathCAD program, graphs describing the laws of motion of the spindle teeth and keys to clean the spindle surface from cotton and its active component in the given speed modes of the cotton picking machine were created.

Keywords: cotton picking machine; working chamber; drum; spindle; epi and hypocyclic rotation; trajectory; angular velocity; contact depth of the opener.

УДК 519.63, 631.36

КОНСТРУКЦИОННОЕ МОДЕРНИЗИРОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СУШИЛКИ С ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИЕЙ ВОЗДУХА

Мирзаев Ш.М., Жумаев Ж., Кодиров Ж.Р., Хакимова С.Ш.

Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан

E-mail: j.r.qodirov@buxdu.uz, j.jumaev@buxdu.uz

Аннотация: Разработано комбинированное сушильно-накопительное устройство с прозрачной поверхностью и аккумуляцией энергии с использованием камней, горных пород гальки, позволяющее увеличить интенсивность естественной конвекции воздуха, и проведено экспериментальное исследование сушки абрикосовой продукции. На основе этих экспериментальных данных сформулирована математическая модель конвекции воздуха на этом солнечном коллекторе. Для использования экспериментальных данных как граничные условия, составлены регрессионные уравнения. В качестве математической модели использованы нестационарные двумерные уравнения пограничного слоя и энергии в приближении Буссинеска. Были получены графики изменения температуры и скорости по всей полости коллектора в течения солнечного дня. Получены результаты удовлетворительные соответствия с экспериментальными данными.

Ключевые слова: сушилка, естественная конвекция, сушка абрикосов, воздух, сушильная камера, процесс сушки, математическая модель, эмпирическое уравнение.

Введение. Необходимость минимального количества ископаемого топлива в настоящее время требует от ученых всего мира проведения обширных исследований по использованию возобновляемых источников энергии.

Солнечная энергия является самым надежным, экологически чистым и возобновляемым источником энергии. Он предпочтительнее других источников, поскольку не требует высокой стоимости ископаемого топлива и не загрязняет окружающую среду. По литературным данным ежегодно земля получает солнечной энергии в 15000 раз больше, чем может произвести энергетика всего мира, это означает, что солнце – мощнейший генератор тепла. Поэтому создаются различные устройства для использования этим даром природы.

Одним из таких устройств является солнечный коллектор. Солнечные коллекторы являются ключевым компонентом активных систем солнечного сооружения отопления. Они собирают солнечную энергию, преобразуют в тепло, а затем передают это тепло к сушильным устройствам.

Вопрос получения качественных продуктов путем сушки на месте с помощью эффективных солнечных сушилок с целью значительного сокращения потерь после сбора урожая сельскохозяйственной продукции остается важной проблемой перед учеными [1].

Они сосредотачивают свою научную деятельность на проведение экспериментальных исследований путем применения дополнительного нового оборудования и корректировки геометрических размеров элементов конструкции не только на эмпирической форме, но, по крайней мере, на полуэмпирической форме.

При непрямом способе нагревание воздуха осуществляется через калориферы различных систем. При этом агентом сушки является лишь нагретый воздух. Этот способ нагревания более прогрессивен, так как гарантирует санитарную безвредность осушаемых фруктов.

В целях дальнейшего повышения эффективности получения высококачественной продукции в таких устройствах учёные будут сосредоточены на полной модернизации элементов построения математической модели на основе специальных программ, созданных на современных компьютерных технологиях.

В статье [2] представлены детали математической модели для неглазурированных пропускных коллекторов (или перфорированных коллекторов, коллекторов с аккумулятором) с использованием выражений теплопередачи для компонентов элементов коллектора, и эмпирические соотношения для оценки различных коэффициентов теплопередачи. Используемые уравнения хорошо предсказывают тепловые характеристики неглазурированного просачивающегося солнечного коллектора в широком диапазоне конструкций и условий эксплуатации. Результаты модели были проанализированы для прогнозирования эффектов основных параметров производительности систем коллектора при температуре подаваемого воздуха 45–65 °С.

Параметрические исследования были проведены путем изменения пористости осушаемых продуктов, расхода воздуха, солнечной радиации и использования теплоаккумуляторов и нахождения их влияния на КПД коллектора, эффективность теплообмена, повышение температуры воздуха и отдаваемое полезное тепло. Результаты указывают на перспективность систем коллекторов в этом диапазоне температур, предлагая себя в качестве привлекательной альтернативы застекленным солнечным коллекторам для сушки продуктов питания.

Исследование авторов [3] сосредоточено на анализ температурного профиля, характеристику теплопередачи и теплового коэффициента полезного действия плоского солнечного коллектора (FPSAC) при различных массовых расходах воздуха. Также с помощью многофакторного анализа исследования установлены и взаимосвязи среди несколько других переменных тепловых характеристик.

Были проведены эксперименты в ненагруженном режиме и на открытом воздухе при условиях естественной и вынужденной конвекции воздуха в плоском коллекторе солнечной сушилки.

В работе [4] проведен численный анализ исследования конвективного течения вязкой несжимаемой жидкости по наклонной полу бесконечной пластине с учетом зависимости вязкости и температуропроводности от температуры. Выявлены уравнения соответствующими краевыми условиями, которые преобразованы к безразмерной форме с помощью соответствующих безразмерных величин. Так как получить аналитическое решение предложенных уравнений было невозможно, вследствие сложности преобразованных их в математической модели, поэтому при численном решении авторами использована схема Кранка - Николсона, как наиболее эффективный и безусловно устойчивый неявный конечно-разностный метод.

Численные результаты получены для различных значений вязкости, теплопроводности, угол наклона абсорбера плоского солнечного коллектора, критериев Грасгофа и Прандтля. Результаты исследования изменения скорости, температуры, напряжения сдвига и числа Нуссельта представлены графически. Для достоверности результатов проведено сравнение с результатами, имеющимися в литературных данных ученых мира.

В статье авторов [5] моделируется процесс возникновения динамических и температурных пограничных слоев вблизи вертикально расположенного стержня, который является источником тепла. Сформулирована стационарная система дифференциальных уравнений в частных производных в приближении пограничного слоя и также считая среду сжимаемая. Задача с граничными условиями решена численно с применением неявной схемы, используя метод прогонки и итерации. Найдены профили скоростей и температуры при различных значениях числа Прандтля и граничных условий. Установлено, что результаты исследования можно использовать для процесса конвекции вблизи источников тепла.

Из анализа результатов вышеизложенных в литературах можно делать вывод о том, что процессы, обнаруживаемые в плоских солнечных коллекторах с естественной конвекцией воздуха, нуждаются в дальнейшем исследовании, стремлению максимально аккумулировать возобновляемые источники энергии, математическому моделированию в тесном контакте с результатами экспериментальных исследований.

Методика. Солнечная сушильная установка косвенного типа с естественной конвекцией воздуха состоит в основном из двух частей: плоского солнечного коллектора и сушильного шкафа (Рис. 1.) [6].

Солнечный плоский коллектор выполнен в виде горячего ящика и параллелепипеда прямоугольной формы, его дно и боковые стороны защищены от передачи тепла в окружающую среду. В нижней части коллектора установлен тепловой аккумулятор для резервирования тепла. На двух сторонах (нижней и верхней сторонах) коллектора вырезаны крышки: крышка (А) для входа воздуха из окружающей среды и крышка (В) для передачи нагретого воздуха из коллектора в сушильный шкаф (Рис. 1.). Обращенная к солнцу часть горячего ящика покрыта стеклом. Внутренние и внешние части всех оставшихся боковых стенок, дно, ограждены фанерой, между которыми тепло изолировано от внешней среды.

Сушильный шкаф также был выполнен в форме прямоугольного параллелепипеда, и все его стенки были защищены от теплопередачи в окружающую среду. Со стороны шкафа, обращенной к Северному полюсу, установлена термически защитная дверца для размещения в ней осушаемых продуктов.

Чтобы обеспечить поступление нагретого воздуха из плоского коллектора в сушильный шкаф, в нижней части шкафа установлено отверстие (В), на крыше шкафа установлено отверстие (D), чтобы отводить паровоздушную смесь в окружающую среду (рис. 1).

Солнечная радиация падает на прозрачную поверхность плоского коллектора, часть солнечного излучения отражается из прозрачной поверхности и часть поглощается ею, остальная часть пропускается через воздух внутри коллектора и попадает на поверхность теплового аккумулятора, который установлен на дне коллектора.

Поверхность коллектора, который принимает солнечных лучей, является стеклянным, стекло пропускает солнечные лучи и еще покрывает коллектор и тем самым сокращает потери энергии тепловым аккумулятором при отсутствии солнечных лучей.

Воздух и аккумулятор, которые получили солнечное излучение, нагреваются. В то же время нагретый аккумулятор также передает свою тепловую энергию на нагрев окружающего его воздуха внутри камеры коллектора. Воздух с повышенной температурой поднимается к отверстию (В) коллектора и поступает в сушильный шкаф. Одновременно воздух из окружающей среды через отверстие (А) поступает в коллектор.

Нагретый воздух перемещается вертикально и выпускается в окружающую среду через отверстие (D), установленное в верхней части шкафа. В том случае, если в шкаф помещается осушаемый продукт, нагретый воздух, передавая ее тепло, испаряет содержащуюся в нем воду. Тогда через отверстие (D) выпускается паровоздушная смесь.

В узлах сушильного устройства определяем температуры: температуру поступающего воздуха из окружающей среды в коллектор - T_a , температуру выходящего из коллектора - T_c , температуру паровоздушной смеси, выходящей из сушильного шкафа- T_d . Определяем размеры сушильной установки: высота всей установки – H , высота коллектора- h_c , высота сушильного шкафа - $h_{шк}$ (рис.1).

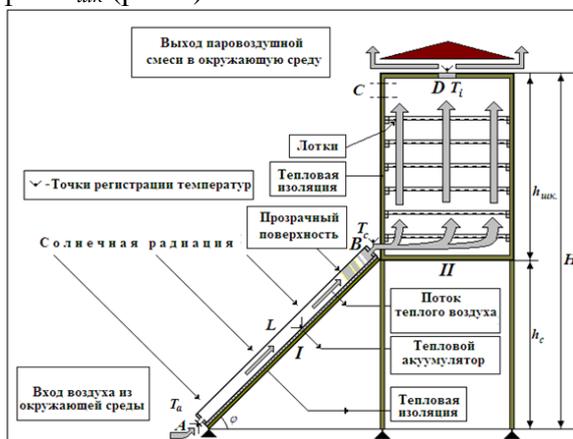


Рис.1. Схема солнечной сушильной установки косвенного типа с естественной конвекцией воздуха.

Чтобы математически моделировать процесс конвекции воздуха в камере плоского коллектора из рис. 1 мысленно вырежем вертикальную плоскость из этого коллектора в виде рис.2, и будем рассматривать двумерную область. Таким образом, задачу приведем к исследованию конвекции воздуха между двумя параллельно расположенными стержнями [4, 5]

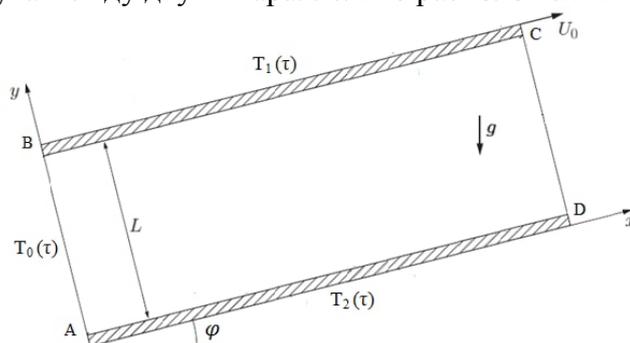


Рис.2. Схема коллектора и система координат.

При выборе дифференциальных уравнений возникает проблема из-за возможного изменения параметров переноса μ , α и плотности ρ . Во многих течениях интерес представляет, как определить этих значений, когда они существенно изменяются в процессах сушки с большими разностями температур. А в случаях, когда в процессе сушки разность температур не большой, тогда эти параметры можно принимать постоянными. Но, чтобы получить движение при конвекции воздуха, изменение их плотности необходимо учитывать всегда [6].

Исходя из этих предположений, для формулировки вычислительной задачи и уравнения теплообмена далее будем считать ньютоновскую жидкость (воздух) в коллекторе двумерным, ламинарным, для сего справедливо приближение Буссинеска [6]. Согласно приближению Буссинеска все свойства жидкости постоянны, за исключением плотности. Плотность (условно жидкости) линейно зависит от температуры:

$$\rho = \rho_0 [1 - \beta(T - T_0)] \quad (1)$$

Здесь ρ_0 –плотность жидкости при начальной температуре, β –коэффициент теплового расширения воздуха $\beta = 0.003$, T_0 – начальная температура.

Для построения математической модели, прежде всего, формулируются начальные и граничные условия.

При формировании начальных условий принимаем, что внутри плоского солнечного коллектора еще не начались движение потока воздуха, температура берется из данных экспериментальных источников. Для граничных условий температурные данные принимаются тоже из данных экспериментальных источников [7].

Основные уравнения для нестационарного потока естественной конвекции с использованием закона сохранения массы, импульса, энергии в приближении Буссинеска воздуха могут быть записаны в виде [8]:

$$\begin{cases} \frac{\partial(u)}{\partial x} + \frac{\partial(\vartheta)}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \vartheta \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \beta g (T - T_0) \cdot \sin \varphi \\ \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + \vartheta \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \end{cases} \quad (2)$$

В уравнении (1) u, ϑ – продольные и поперечные составляющие скорости воздуха, T – температура, ρ – плотность, P – давление, которое при исследовании принимается постоянным и равняется атмосферному, μ – динамическая вязкость, x, y – координаты, g – ускорение свободного падения, β – объемный коэффициент теплового расширения (для воздуха при 30° равен $3,30 \cdot 10^{-3}$), α – коэффициент температуропроводности среды.

Постановка граничных условий. Для задания граничных условий обратимся к рисунку 2. В координатной системе по оси x расположен источник теплоты-стержень. Стержень имеет постоянную температуру. Когда температура стержня больше температуры окружающего воздуха, возле стержня вследствие конвекции возникает динамическое и тепловые пограничные слои, которые расширяются по мере передвижения воздуха вверх.

Основным параметром для граничных условий является температура на границах. Из экспериментально созданного коллектора для жарких дней лета выбраны 6 дней были сняты данные температуры окружающей среды, у входа коллектора, непосредственно под стекла солнечного коллектора, у аккумулятора тепла, у выхода из коллектора. После этого эти данные усреднены и выбраны в качестве начальных и граничных условий (табл.1).

Таблица 1.

Усредненные начальные и граничные условия, выбранные у входа солнечного коллектора, у аккумулятора тепла и входа из коллектора

Граничные условия	U	V	T
AB	$\frac{\partial U}{\partial y} = 0$	V=0	$T = T_0(\tau)$
BC	U=0	V=0	$T = T_1(\tau)$
CD	$\frac{\partial U}{\partial y} = 0$	$\frac{\partial V}{\partial y} = 0$	$\frac{\partial T}{\partial y} = 0$
DA	U=0	V=0	$T = T_2(\tau)$

В качестве граничных условий в таблице 1 используется температура под стеклом, у аккумулятора тепла, а также начальные условия у входа в солнечном коллектора, которые меняются в течение дня. Граничные условия CD пока не используем. Экспериментальные данные из этих точек были сняты с 10-00 до 19-00 каждый час [9]. Для решения дифференциального уравнения нужны данные на каждом узлом точке. Для этого можно построить интерполяционный многочлен, на основе которого составим регрессионное уравнение. Для задания начальных и граничных условий (используя экспериментальные данные) было составлено регрессионное уравнение в виде многочлена. Усредненные экспериментальные данные под стеклом и аккумулятора тепла приводятся в следующей таблице. (табл.2):

Усредненные экспериментальные данные.

Время	10-00	11-00	12-00	13-00	14-00	15-00	16-00	17-00	18-00	19-00
T_1	37,2	43,2	45,5	47,1	50,2	50,7	48,9	45,6	41,3	38,7
T_2	46,2	54,2	60,3	63,5	65,6	63,8	60,5	58,4	45,9	40,2
T_0	31,3	32,7	35,1	37,4	36,6	37,4	37,4	36,2	36,9	35,9

Линии регрессионных уравнений показаны на рис.3-5.

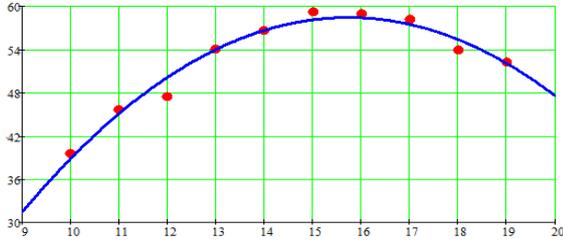


Рис.3. Экспериментальные данные температуры под стеклом и регрессионное уравнение $T_1(\tau) = -0,59\tau^2 + 18,786\tau - 89,36$

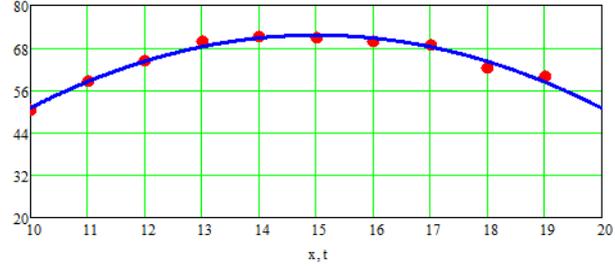


Рис.4. Экспериментальные данные температуры у аккумулятора тепла и регрессионное уравнение $T_2(\tau) = -0,826\tau^2 + 24,76\tau - 114,137$

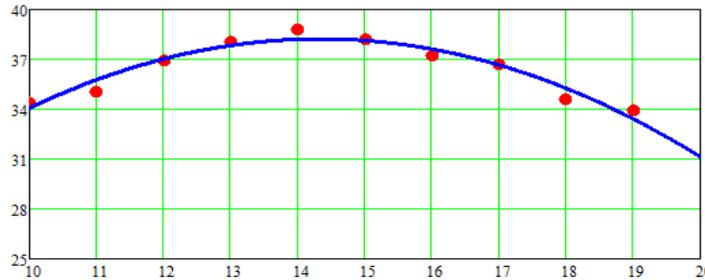


Рис.5. Экспериментальные данные температуры у входа в коллектор и регрессионное уравнение $T_0(\tau) = -0,221\tau^2 + 6,349\tau + 7,281$

Приведение дифференциальных уравнений к безразмерному виду.

Для решения системы дифференциальных уравнений (1) в основе начальных и граничных условий приведем к безразмерному виду: для этого введем следующие масштабные величины [10]:

$$\begin{cases} u_m = \sqrt{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L}, \vartheta_m = \vartheta_0, x_m = L, y_m = L, \\ \theta = (T - T_0)/\Delta T, \Delta T = T_h - T_0, \tau = t \cdot u_m/L, Pr = \nu/\alpha \end{cases} \quad (3)$$

Здесь под L подразумевается длина плоского солнечного коллектора, за значения с индексом 0 принимались наименьшее значение под стеклом. Индекс m означает, что эта величина масштаба, индекс h означает, что эта величина из аккумулятора тепла.

Систему уравнений (2) в безразмерной форме можно написать в форме (для простоты безразмерные переменные приведены как в (2)):

$$\begin{cases} \frac{\partial(u)}{\partial x} + \frac{\partial(\vartheta)}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \vartheta \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{\sqrt{Gr}} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \theta \cdot \sin \varphi \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + \vartheta \frac{\partial \theta}{\partial y} = \frac{1}{Pr \cdot \sqrt{Gr}} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) \end{cases} \quad (4)$$

Здесь $Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu^2_m}$ - число Грасгофа, $\Delta T = T_h - T_0$, где T_h - максимальная температура в коллекторе, T_0 - минимальная температура в коллекторе. $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$ - число Пранд-

тля, $\theta = \frac{T - T_0}{T_h - T_0}$.

Вычислим число Грасгофа для нашего случая эксперимента. При исходных данных $g = 9,8m/c^2$, $\beta = 0,003K^{-1}$, $\Delta T = T_h - T_0 = 55 - 40 = 15K$, $L = 1 m$, $\nu = 16 \cdot 10^{-6}m/c^2$ получим $Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu^2} = 17 \cdot 10^8$.

По данным [11], при $Gr \cdot Pr > 10^{10}$ течение турбулентное. Исходя из этого можно считать, что в нашем случае течение ламинарное.

Система уравнений (4) с начальными и граничными условиями решалась в безразмерном виде с использованием метода конечных разностей и явной схемы.

Второе и третье уравнение системы (4) в общем виде можно привести в виде:

$$\frac{\partial z}{\partial t} + u \frac{\partial z}{\partial x} + v \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{1}{K} \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \right) + Q, \quad (5)$$

где $z = u$, $K = \sqrt{Gr}$, $Q = \theta \cdot \sin \varphi$ для уравнения движения, $z = \theta$, $K = Pr \sqrt{Gr}$, $Q = 0$ для уравнения теплопроводности.

Покрывая рассматриваемую область сеткой $x = ix\Delta x$, $y = jy\Delta y$, $i = 0, \overline{N-1}$, $j = \overline{M-1}$.

Здесь $\Delta x, \Delta y$ - расстояние между соседними точками в горизонтальной и вертикальной направлениях. Здесь N, M - число точек в горизонтальных и вертикальных направлениях соответственно. Схематический вид сетки имеется в [8].

В уравнении (5) переходим к конечно-разностным отношениям. Для нелинейных членов принимается, что коэффициенты известны или из предыдущего слоя (для нулевого приближения), или же из предыдущего приближения.

Для внутренних точек исследуемой области воспользуемся следующими видами аппроксимации [8]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial z}{\partial t} &= \frac{(z_{i,j}^{t+1} - z_{i,j}^t)}{\Delta t}, & u \frac{\partial z}{\partial x} &= u_{i,j}^n \frac{(z_{i,j}^n - z_{i-1,j}^n)}{\Delta x} + O(\Delta x), \\ g \frac{\partial z}{\partial y} &= g_{i,j}^n \frac{(z_{i,j}^n - z_{i-1,j}^n)}{\Delta y} + O(\Delta y), & \frac{1}{K} \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} &= \frac{1}{K} \frac{z_{i,j+1}^n - 2z_{i,j}^n + z_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} + O(\Delta y)^2, \end{aligned} \quad (6)$$

После подстановки этих конечно-разностных аппроксимаций для уравнения (5) получаем:

$$\frac{z_{i,j}^{n+1} - z_{i,j}^n}{\Delta t} + (u)_{i,j}^n \frac{z_{i,j}^n - z_{i-1,j}^n}{\Delta x} + (v)_{i,j}^n \frac{z_{i,j}^n - z_{i-1,j}^n}{\Delta y} = \frac{1}{K} \left[\frac{z_{i,j+1}^n - 2z_{i,j}^n + z_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} \right]_{i,j} + Q_{i,j} \quad (7)$$

В (7) умножаем обе стороны этого уравнения на Δt :

$$z_{i,j}^{n+1} - z_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{\Delta x} z_{i,j}^n (z_{i+1,j}^n - z_{i,j}^n) + \frac{\Delta t}{\Delta y} z_{i,j}^n (z_{i,j+1}^n - z_{i,j}^n) = \frac{1}{K} \frac{\Delta t}{\Delta y^2} [z_{i,j+1}^n - 2z_{i,j}^n + z_{i,j-1}^n] \quad (8)$$

Из (8) находим $z_{i,j}^{n+1}$:

$$z_{i,j}^{n+1} = z_{i,j}^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} z_{i,j}^n (z_{i+1,j}^n - z_{i,j}^n) - \frac{\Delta t}{\Delta y} z_{i,j}^n (z_{i,j+1}^n - z_{i,j}^n) + \frac{1}{K} \frac{\Delta t}{\Delta y^2} [z_{i,j+1}^n - 2z_{i,j}^n + z_{i,j-1}^n] \quad (9)$$

После заполнения начального поля по начальным и граничным условиям проводится численный расчет следующего поля по формуле (9). Далее эта процедура повторяется до получения сходящегося решения.

Из системы уравнения (4) находим поперечное составляющее скорости v после нахождения продольной скорости.

$$v_{i,j}^{n+1} = v_{i,j-1}^{n+1} + \frac{\Delta y}{\Delta x} \cdot (u_{i-1,j}^{n+1} - u_{i,j}^{n+1})$$

Тестирование математической модели проводилось сравнением стационарных профилей расчетных данных с экспериментальными данными [4] (рис. 6).

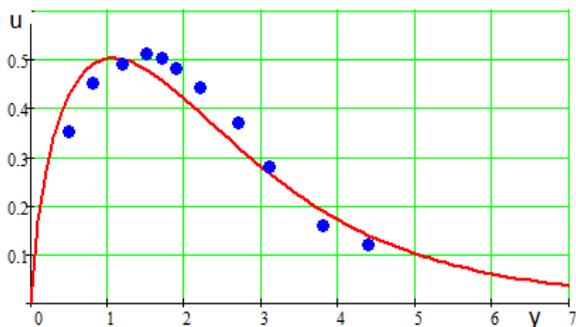


Рис.6. Сравнение стационарных профилей скорости с экспериментальными данными.

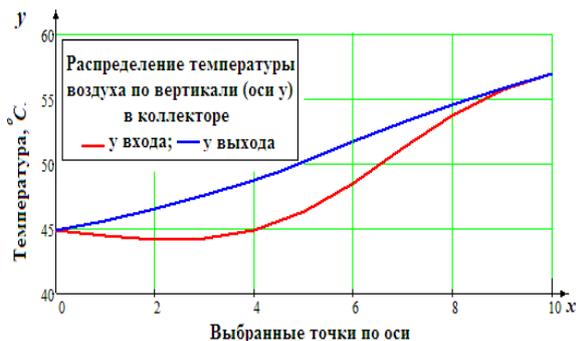


Рис.7. Распределение температуры по радиальному распределению в начале и в конце коллектора в начале дня.

На рис.7. приведены расчетные данные распределения температуры по радиальному распределению температуры в начале и в конце данного коллектора, вычисленные к 11-и часам. Видно, что в начале солнечного плоского коллектора в центральной части пока температура не большая, а в конце влияние температуры из аккумулятора тепла внутрь коллектора заметное.

Но это влияние будет ощутимо в жаркое время дня, например, на рис. 8 приведены распределение температуры в начале и в конце коллектора. Из рисунка видно, что по граничным условиям уже температура равняется с двух сторон. В начале дня температура поступающего на коллектор воздуха немного ниже, но в конце коллектора из-за теплопроводности и конвекции воздуха повышается.



Рис.8. Распределение температуры в начале и в конце коллектора в конце дня.

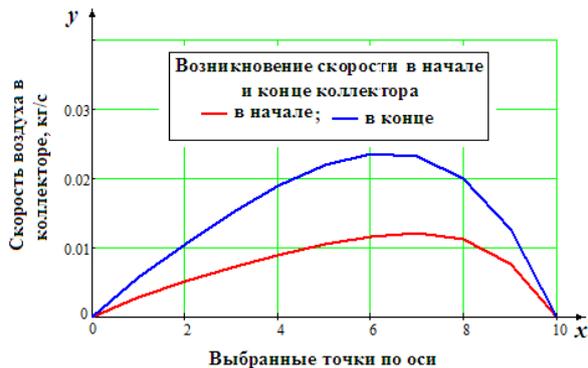


Рис.9. Возникновение скорости в начале и конце коллектора, по данным, полученным в начале дня.

Влияние конвекции воздуха на возникновения скорости воздуха в коллекторе можно наблюдать на рисунках 9 и 10. На рисунке 9 приведены распределение скорости воздуха в начале и конце коллектора в начале дня. Из-за влияния температурного фактора скорость воздуха в конце коллектора становится больше в два раза, чем в начале коллектора. Максимум скорости воздуха смещена в сторону, где преобладает температура. Но и прослеживается влияние подъемной силы, потому что максимум скорости воздуха смещена налево (в сторону уменьшения температура) из того места, где находится максимум температуры.

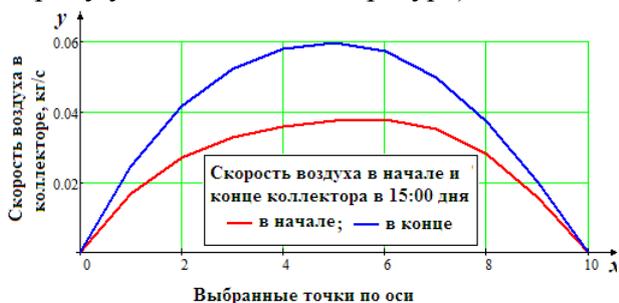


Рис.10. Возникновение скорости в начале и конце коллектора, по данным, полученным в 15-00 дня.

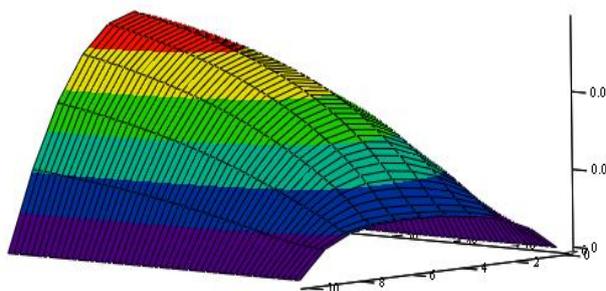


Рис.11. Распределение продольной скорости по коллектору в середине дня.

Влияние подъёмной силы еще сильна, когда температура становится еще больше в коллекторе. Например, на рис. 10 приведены данные вертикальной скорости в начале и в конце коллектора к 15-00 дня. Видно, что максимум скорости смещена еще к середине, ее значение в три раза выше, чем в начале дня. Из этого можно делать вывод, что максимум передачи тепла из коллектора происходит вследствие конвекции и подъёмной силы ко второй половине дня.

Трехмерное изображение распределения продольной скорости воздуха в коллекторе приведены на рис. 11. Данные для этих рисунков получены в середине дня, где видно появление и равномерное повышение скорости воздуха по длине коллектора. Видны линии распределения скорости в начале коллектора, повышение значений по передвижению на верх коллектора.

Заключение. Таким образом, установлены зависимость температур воздуха у входа и выхода из плоского солнечного коллектора, а также на поверхности аккумулятора тепла от времени измерения, сопоставлены экспериментальные и расчетные данные, то есть устанавливалась и сравнивалась четкая картинка взаимосвязей между переменными на основе методов многомерного анализа. Для оценки эффективности полученной модели выявлена средняя ошибка аппроксимации 7,7%. Цена модели также повышает уровень достоверности в производстве теплого воздуха с естественной циркуляцией конвекцией в плоских солнечных коллекторах.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] *Nicholas Musembi Maundu et al.* Air-flow Distribution Study and Performance Analysis of a Natural Convection Solar Dryer // American Journal of Energy Research, vol. 5, no. 1 (2017): 12-22. doi: 10.12691/ajer-5-1-2.1.
- [2] *Augustus Leon A., Kumar S.* Mathematical modeling and thermal performance analysis of ungrazed solar collectors// Solar Energy 81 (2007) 62–75. www.elsevier.com/locate/solener
- [3] *Poonam Rani, P.P. Tripathy.* Thermal characteristics of a flat plate solar collector: Influence of air mass flow rate and correlation analysis among process parameters// Solar Energy 211 (2020) 464–477. www.elsevier.com/locate/solener
- [4] *Палани Г., Кирубавати Дж. Д., Кван Ёнг Ким.* Свободная конвекция на наклонной пластине при изменениях вязкости и температуропроводности// Теплофизика и аэромеханика, 2014, том 21, № 1.
- [5] *Jumayev J., Shirinov Z., Kuldashev H.* Computer simulation of the convection process near a vertically located source.// International conference on information Science and Communications Technologies (ICISCT) 4-6 november. 2019. Tashkent. Conference Proceedings. pp.635-638. DOI:10.1109/ICISCT 47635.2019.9012046
- [6] *Геххарт Б., Джалурия Й., Махаджан Р.Л., Саммакия Б.* Свободно-конвективные течения, тепло и массообмен. Кн. 2. - М.: Мир, 1991. - 678с.
- [7] *Мирзаев Ш.М., Кодиров Ж.Р.* Исследование и разработка воздушного коллектора для солнечной сушки косвенного действия с естественной конвекцией.// «Альтернативная энергетика и экология». № 01. (395) 2022 й.
- [8] *Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р.* Вычислительная гидромеханика и теплообмен. В 2-х томах. - М: Мир, 1990. - 384 с.
- [9] *Mirzaev Sh., Kodirov J., Khamraev S.I.* Method for determining the sizes of structural elements and semi-empirical formula of thermal characteristics of solar dryers. // APEC-V-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 1070 (2022) 012021.
- [10] *Терехов В.И., Жаид А.Л.* Ламинарная свободная конвекция между вертикальными параллельными пластинами с различными температурами.// Теплофизика и аэромеханика, 2012, том 19, № 4
- [11] *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя. М: «Наука», 1974. 712 с.

Дата поступления
21.01.2023

Мирзаев Ш.М., Жумаев Ж., Қодиров Ж.Р., Ҳакимова С.Ш. Табиий ҳаво конвекцияли қуёш қуритгичини конструкцияси тақомиллаштириши ва математик моделлаштириши.

Аннотация: Табиий ҳаво конвекциясининг интенсивлигини ошириши имконини берувчи шаффоф юза ва тоғ жинсли тошлар ёрдамида энергия тўплайдиган комбинацияланган қуритиш-сақлаш мосламаси яратилди ва ўрик маҳсулотларини қуритиш бўйича экспериментал тадқиқотлар ўтказилди. Ушбу экспериментал маълумотларга асослашиб, ушбу қуёш коллекторида ҳаво конвекциясининг математик модели тузилган. Экспириментал маълумотларни чегара шартлари сифатида ишлатиш учун регрессия тенгламалари тузилган. Математик модел сифатида чегаравий қатлам ва энергиянинг стационар икки ўлчовли тенгламалари Буссинеск яқинлашувиди ишлатилган. Қуёшли кун давомида бутун коллектор бўйлаб ҳарорат ва тезлик ўзгаришларининг графиклари олинган. Олинган натижалар экспериментал маълумотларга қониқарли мос келади.

Калит сўзлар: қуритгич, табиий конвекция, ўрикни қуритиш, ҳаво, қуритиш камераси, қуритиш жараёни, математик модел, эмперик тенглама.

Mirzaev Sh.M., Jumaev J., Kodirov J.R., Khakimova S.Sh. Constructional upgrade and mathematical modeling of a solar dryer with natural air convection

Abstract: A combined drying-storage device with a transparent surface and energy accumulation using stones and rocks of jackdaw has been developed, which allows increasing the intensity of natural air convection, and an experimental study of drying apricot products has been carried out. Based on these experimental data, a mathematical model of air convection on this solar collector is formulated. To use experimental data as boundary conditions, regression equations were compiled. Nonstationary two-dimensional equations of the boundary layer and energy in the Boussinesq approximation were used as a mathematical model. Pictures of temperature and velocity changes were obtained throughout the entire collector cavity during a sunny day. The results obtained are in satisfactory agreement with the experimental data.

Keywords: dryer, natural convection, drying of apricots, air, drying chamber, drying process, mathematical model, empirical equation.

УДК 532

ПРИМЕНЕНИЕ МАРШЕВОГО И SIMPLE МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ЗАДАЧИ ДОЗВУКОВОЙ ГОРЯЧЕЙ СТРУИ

¹Маликов З.М., ^{1,3}Назаров Ф.Х., ²Хайдаров С.И., ⁴Адилов К.А.

¹Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т.Уразбаева АН РУз, Ташкент, Узбекистан.

²Андижанский машиностроительный институт, Андижан, Узбекистан.

³Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Узбекистан.

⁴Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан.

E-mail: farruxnazar@mail.ru

Аннотация: В данной работе проводится исследование горячей дозвуковой осесимметричной затопленной струи истекающей из сопла радиусом 25.4 мм. Для дозвуковой струи число Маха на выходе из сопла равно 0.376, а число Рейнольдса было равно 5600. Для исследования этой задачи использована двух-жидкостная модель турбулентности. Численные результаты данной модели получены как для полной, так и для упрощенной системы уравнений. Для численной реализации полной системы уравнений использован конечно-разностный метод и применена процедура SIMPLE. В упрощенной системе уравнений считалось давление постоянным и в диффузионной части уравнений пренебрегаются членами с производными в продольном направлении. Для численной реализации такой системы использован маршевый метод интегрирования уравнений в продольном направлении. Результаты двух-жидкостной модели сопоставляются с опытными данными из базы данных NASA.

Ключевые слова: уравнения Навье–Стокса, горячая дозвуковая струя, двухжидкостная модель, метод SIMPLE, маршевый метод.

Введение. Процессы теплопередачи являются часто встречающимся явлением во многих практических задачах. Например, они являются определяющими в основных установках, используемых в энергетике, металлургии и химической промышленности, таких как печи, теплообменники, конденсаторы и реакторы. Работа самолетов и ракет основана на процессах, обусловленных течением газов, теплообменом и химическими реакциями. Теплопередача является ограничивающим фактором при проектировании электрооборудования и электронных схем. Загрязнение окружающей среды также связано с процессами тепло- и масса-обмена. По этой причине должны быть инструменты для эффективного управления ими. Этого можно достичь путем понимания сущности процессов и разработки методов получения их количественного описания. Обладая такими знаниями, можно выбрать лучшие технологии или конструкции, наиболее эффективные режимы работы различных установок, прогнозировать и контролировать потенциальные опасности как техногенного, так и экологического характера. Однако во многих случаях процессы теплообмена сопровождаются таким сложным явлением, как турбулентность. Турбулентность остается сложным и запутанным явлением в гидродинамике, и ее понимание имеет решающее значение для различных приложений в технике и технологиях. При работе со сжимаемыми жидкостями, например, в горячей струе, большую роль играют такие факторы, как колебания плотности и температуры. Моделирование турбулентного течения в сжимаемых жидкостях требует рассмотрения не только уравнений движения, но и тонкостей турбулентного теплопереноса. Проблемы в этой области, вероятно, возникают из-за необходимости в сложных математических моделях и вычислительных методах для точного моделирования и прогнозирования поведения турбулентных сжимаемых потоков. Взаимодействие гидродинамики, термодинамики и турбулентности делает эту проблему

СОДЕРЖАНИЕ

А.А.Халджигитов, У.З.Джумаёзов, З.З.Хасанова. Связанные задачи плоской термоупругости в деформациях.....	3
А.Бегматов. Соударение жесткого тела и вязкопластического стержня конечной длины при наличии сухого трения с внешней средой.....	12
Р.Д.Матчанов, А.И.Юлдашев. Определение технологических параметров вентиляторного опрыскивателя с двойным соплом.....	19
У.А.Зиямухамедова, Л.Ю.Бакиров, М.У.Тураев, Д. А.Джумабаев, Э.Т. Тургуналиев. Особенности деформации элементов хлопка-сырца на примере его первичной переработки.....	24
Г.А.Бахадиров, Ш.Р.Хуррамов, М.У.Мусиров. Моделирование закономерностей распределения контактных напряжений в двухвалковом модуле.....	33
Д.А.Кўлдошев, М.К.Норматов, А.А.Хунаров, А.Б. Хакимжонов. Разработка эффективной конструкции центробежного вентилятора хлопкоуборочных машин.....	40
К.И.Байманов, Р.К.Байманов, Ш.Ж.Тажобаев, А.А. Мадияров. Опыты проектирование и строительство насыпных каналов, возводимых гидравлическим способом.....	47
К.Наврұзов, З.Шукуров, М.Тураев, Н. Абдикаримов. Ламинарное нестационарное течение вязкоупругой жидкости в плоском канале.....	60
М.М.Хамдамов, С.А.Музаффаров. Численные моделирование ветротурбины в программном комплексе Comsol.....	69
О.С. Норкузиев. Расчетный анализ кинематики эпи и гипоциклического движения шпинделей вертикально-шпиндельного уборочного аппарата.....	84
Ш.М.Мирзаев, Ж.Жумаев, Ж.Р.Кодиров, С.Ш.Хакимова. Конструкционное модернизирование и математическое моделирование солнечной сушилки с естественной конвекцией воздуха.....	88
З.М.Маликов, Ф.Х.Назаров, С.И.Хайдаров, К.А. Адиллов. Применение маршевого и simple методов численного анализа для задачи дозвуковой горячей струи.....	97
Д.М.Мухаммадиев, Ф.Х.Ибрагимов, О.Х.Абзоиров, Л.Ю.Жамолова, Н.К.Жумаев. Исследование вращательного движения пыльного цилиндра линтерной машины с распределенными параметрами.....	114
Памяти дотора технических наук, профессора Мухаммада Тожалиевича Тошболтаева.....	120
Памяти дотора технических наук, профессора Шавката Маматкулова.....	121

МУНДАРИЖА

А.А.Халджигитов, У.З.Джумаёзов, З.З.Хасанова. Текис деформацияларга нисбатан термо-эластиклик назариясининг боғланган масалалари.....	3
А.Бегматов. Қаттиқ жисм ва узунлиги чекли ёпишқоқ-пластик стерженнинг ташқи муҳит билан курук ишқаланиш мавжуд бўлгандаги тўқнашуви.....	12
Р.Д.Матчанов, А.И.Юлдашев. Икки соплога эга вентиляторли пуркагичларнинг технологик параметрларини аниқлаш.....	19
У.А.Зиямухамедова, Л.Ю.Бакиров, М.У.Тураев, Д. А.Джумабаев, Э.Т. Тургуналиев. Пахтага дастлабки ишлов бериш мисолида пахта элементлари деформациясининг муҳим хусусиятлари.....	24
Г.А.Бахадиров, Ш.Р.Хуррамов, М.У.Мусиров. Икки валли модулда контакт кучланишларининг таксимот конунларини моделлаштириш.....	33
Д.А.Кўлдошев, М.К.Норматов, А.А.Хунаров, А.Б. Хакимжонов. Пахта териш машиналари учун марказдан кочма вентиляторини самарали контрукциясини ишлаб чиқиш.....	40
К.И.Байманов, Р.К.Байманов, Ш.Ж.Тажобаев, А.А. Мадияров. Гидравлик услув билан қурилган уйма каналларни лойихалаш ва қуриш тарикасидаги тажрибалар.....	47
К.Наврұзов, З.Шукуров, М.Тураев, Н. Абдикаримов. Ясси каналдаги эластик ёпишқоқ суюқликнинг ламинар ностационар оқими.....	60
М.М.Хамдамов, С.А. Музаффаров. Comsol дастурий воситасида шамол турбиналарини сонли моделлаштириш.....	69
О.С. Норқўзиев. Вертикал шпинделли пахта териш апаратининг эпи ва гипоциклик айланишининг кинематик таҳлили.....	84
Ш.М.Мирзаев, Ж.Жумаев, Ж.Р.Қодиров, С.Ш.Хакимова. Табиий ҳаво конвекцияли қуёш қурутгичини конструкцион такомиллаштириш ва математик моделлаштириш.....	88
З.М.Маликов, Ф.Х.Назаров, С.И.Хайдаров, К.А. Адиллов. Иссиқ товуш тезлигидан паст струя масаласи учун сонли ечишнинг марш ва simple усулларини қўллаш.....	97
Д.М.Мухаммадиев, Ф.Х.Ибрагимов, О.Х.Абзоиров, Л.Ю.Жамолова, Н.К. Жумаев. Таксимланган параметрли линтер машинаси аррали цилиндрнинг айланма ҳаракатини тадқиқи.....	114
Техника фанлари доктори, профессор Мухаммад Тожалиевич Тошболтаев хотирасига.....	120
Техника фанлари доктори, профессор Шавкат Маматкулов хотирасига.....	121