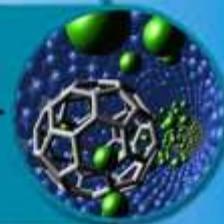
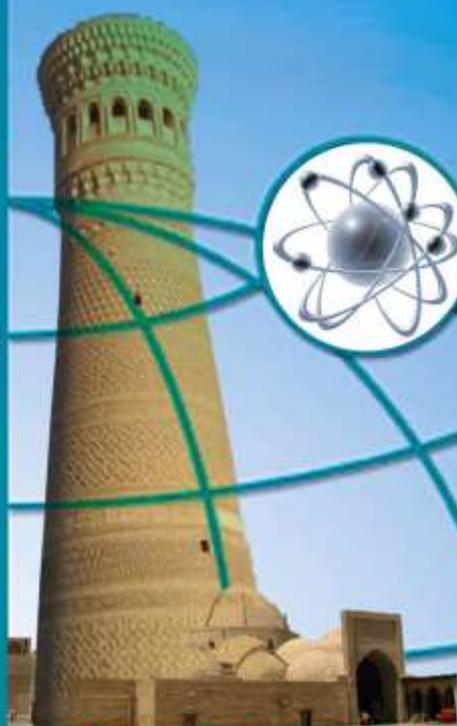




Бухоро муҳандислик-технология институти



**ФАН ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ТАРАҚҚИЁТИ**

**РАЗВИТИЕ НАУКИ И
ТЕХНОЛОГИЙ**



6

2021



Бош муҳаррир:
ДЎСТОВ Ҳ.Б.
кимё фанлари доктори, профессор
Тахририят ҳайъати раиси:
БАРАКАЕВ Н.Р.
техника фанлари доктори, профессор
Муовини:
ШАРИПОВ М.З.
физика-математика фанлари доктори
Тахрир ҳайъати:
ПАРШИЕВ Н.А.
ЎЗР ФА академиги (ЎЗМУ)
МУҚИМОВ К.М.
ЎЗР ФА академиги (ЎЗМУ)
ЖАЛИЛОВ А.Т.
ЎЗР ФА академиги (Тошкент кимё-технология
ИТИ)
НЕГМАТОВ С.Н.
ЎЗР ФА академиги (“Фан ва тараққиёт” ДУК)
РИЗАЕВ А.А.
т.ф.д., профессор (ЎЗР ФА Механика ва зилзила-
бардошлилик ИТИ)
БАҲОДИРОВ Ғ. А.
т.ф.д., профессор, ЎЗР ФА бош илмий котиби
МАЖИДОВ Қ.Х.
техника фанлари доктори, профессор
АСТАНОВ С.Х.
физика-математика фанлари доктори, профессор
РАХМОНОВ Х.Қ.
техника фанлари доктори, профессор
ВОХИДОВ М.М.
техника фанлари доктори, профессор
ЖЎРАЕВ Х.Ф.
техника фанлари доктори, профессор
САДУЛЛАЕВ Н.Н.
техника фанлари доктори, профессор
ФОЗИЛОВ С.Ф.
техника фанлари доктори, профессор
ИСАБАЕВ И.Б.
техника фанлари доктори, профессор
АБДУРАҲМОНОВ О.Р.
техника фанлари доктори
НИЗОМОВ А.Б.
иқтисод фанлари доктори, профессор
ТЕШАЕВ М.Х.
физика-математика фанлари доктори
ЮНУСОВА Ғ.С.
фалсафа фанлари доктори
ХАМИДОВ О.Х.
иқтисод фанлари доктори, профессор
ХОШИМОВ Ф.А.
т.ф.д., профессор (ЎЗР ФА Энергетика институти)
АХМЕТЖАНОВ М.М.
педагогика фанлари номзоди, профессор
АЗИМОВ Б.Ф.
иқтисод фанлари номзоди, доцент
(махсус сонлар учун масъул)

Муҳаррир:
БОЛТАЕВА Н.Ў.
Мусахҳихлар:
БОЛТАЕВА З.З., САЙИТОВА К.Х.,

ФАН ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАР ТАРАҚҚИЁТИ

ИЛМИЙ – ТЕХНИКАВИЙ ЖУРНАЛ

РАЗВИТИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

*Журнал Ўзбекистон матбуот ва ахборот
агентлиги Бухоро вилояти бошқармасида
2014 йил 22-сентябрда № 05-066-сонли
гувоҳнома билан рўйхатга олинган*

Муассис:

Бухоро муҳандислик-технология институти

*Журнал Ўзбекистон Республикаси Вазирлар
Маҳкамаси ҳузуридаги ОАК Раёсатининг
2017 йил 29-мартдаги №239/5- сонли қарори
билан диссертациялар асосий илмий
натижаларини чоп этиш тавсия этилган
илмий наирлар рўйхатида киритилган.*

Тахририят манзили:

*200100, Бухоро шаҳри, Қ. Муртазоев
кўчаси, 15-уй,*

*Бухоро муҳандислик-технология институти
биринчи биноси, 2-қават, 206-хона.*

Тел: 0(365) 223-92-40

Факс: 0(365) 223-78-84

Электрон манзил:

E-mail: fantt_jurnal@umail.uz

*Журналнинг тўлиқ электрон варианты
билан <https://journal.bmti.uz/>
сайти орқали танишиши мумкин.*

*Ушбу журналда чоп этилган материаллар
тахририятнинг ёзма рухсатисиз тўлиқ ёки
қисман чоп этилиши мумкин эмас.
Тахририятнинг фикри муаллифлар фикри
билан ҳар доим ҳам мос тушмаслиги
мумкин. Журналда ёритилган
материалларнинг ҳаққонийлиги учун
мақолаларнинг муаллифлари ва реклама
берувчилар масъулдирлар.*

МУНДАРИЖА – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENT

ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИЯ ВА ЖИҲОЗЛАР	
Баракаев Н.Р., Ражабов А.Н., Кузибеков С.К., Ражабов Б.Н. Определение скорости, ускорения и силы инерции сита при движении комбинированного сепаратора	4
Муминов Р.О., Махмудова М.Ф. Бурғилаш ускунаси гидромеханик айлантурувчи-узатувчи механизмининг ишлаш принципи ва конструкцияси	11
Джураев А.Дж., Бекназаров Ж.Х., Ашуров Х.Х. Технологические характеристики биттера сепаратора	17
Юсубалиев А., Рахматов Д.А., Шарипов Ш.Н. Анализ известных технологий и устройств для подготовки семян люцерны	22
КИМЁ ВА КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯЛАР	
Ибрагимов А.А. N,N'- диалкилирование N,N'-динатрийзамещенных N,N'-гексаметилен бис-[(X-фенил-азо-тимолило)-карбаматов]	30
Паноев Э.Р., Ахмедов В.Н., Дўстов Х.Б., Темиров А.Х., Нуруллаева Н.И. Кутбланиш қаршилиги усули билан коррозия тезлигини пасайтиришда ТФО ингибиторининг самарадорлиги	36
Бахтияров С.Б., Матмуратов Ш.А., Рахимова Ф.М., Озодов Ф.О. Совершенствование технологии получения гидроксида натрия из технической соли месторождения «Барса келмас»	41
Юлчиева С.Т., Сманова З.А. Имобилизованные органические люминесцентные реагенты для определения некоторых тяжелых металлов	46
Қуйбоқаров О.Э., Ортиқов Н.Р., Файзуллаев Н.И. Синтез-газдан юқори молекуляр углеводородлар олиш ва катализаторнинг физик-кимёвий характеристикалари	57
Jumaboyeva Z.Z., Yakubov Y.Y., Qurbonov S.D. ZSM-5 tipidagi zeolitlarda uglerod (IV) oksidining adsorbsiya energetikasi	65
Обидов Х.О. Табиий газни хемосорбцион усулда тозалаш жараёнини такомиллаштириш	70
Ортиқов Н.Р., Қуйбоқаров О.Э., Файзуллаев Н.И. Юқори молекуляр углеводородларнинг синтез-газдан олиниш усули	76
Тиллоева Д.М., Шарипов М.С., Тухтаев С. Коғозларни сиртдан елимлаш учун елим материаллар тайерлаш мақсадида қўлланадиган крахмал хоссаларига оксидлаб модификациялашнинг таъсирини ўрганиш	85
Ochilov A.A., Ochilov X.G., Vozorov N.B. Mahalliy xomashyolar asosida suv neft va neft shlam emulsiyalarini parchalash	96
МАШИНАСОЗЛИК ВА ЭНЕРГЕТИКА	
Баракаев Н.Р., Амонов М.И., Сохибов И.А. Негоскальпические свойства объекта резания	102
Сафаров А.Б., Тоиров З., Султонов Ф.Т., Аслонов Ш.Ф., Сулаймонов Т.В. Шамол энергетик қурилмасининг самарадорлигини оширишда кичик айланиш тезликли электр генераторларни такомиллаштириш	107
Hamroyev N.N., Shodiyev S.S., Turayeva U.X. Yuqori tezlikda frezalash	115
Choriyev A.I. Muqobil energiya manbalari	122
Hamroyev N.N., Turayeva U.X. Keskich aniqligini tadqiq qilish	127
Имомов Ш.Ж., Ҳамроев Ю.Й., Комилов О.С., Мажитов Ж.А., Шарипова Д.Б. Биоэнергетик қурилма реактори ташки конструкцияси геометрик ўлчамларининг баъзи жиҳатлари	134
Жалилов Р.Б., Камалов У.У. Перспективы комбинированного производства электро энергии, тепла и холода – актуальное направление в энергетике в условиях цифровой трансформации	138

Ўринов Н.Ф., Саидова М.Х., Сайлиев И.И. Йиғма кесувчи асбоблар конструкцияларини такомиллаштириш усуллари	147
Зокирова Д.А. Юпқа деворли очик ва ёпиқ цилиндрда кучланиш ва деформацияларни тажрибада текшириш	153
ИНФОРМАТИКА ВА АХБОРОТ – КОММУНИКАЦИОН ТИЗИМЛАР	
Очилов Н. Н. Шифрлаш усуллари ва алгоритмлари таҳлили	160
Usenov A.B., Sultanova Sh.A. Formation model of the ultrasonic cavitation region	165
Sharopova N. A. Ta’lim jarayonida talabalarning axborot-kommunikativ kompetentligining shakllanishi muhimlik darajasi	170
Ўринов Н.Ф., Абдулаева Д.Х., Зайниев Х.М. Дастурий-амалга ошириш мантик контроллери ёрдамида рақамли дастурли бошқаришнинг мантикий масалаларини ечиш .	175
Назарова Н.М., Назаров М.Р. Валидация математической модели рециркуляционной гелиосушилки	183
ОЗИҚ-ОВҚАТ САНОАТИ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ	
Рахимова Г., Атаханов Ш., Мамаджанов Л., Юнусов А. Шифобахш – профилактик ҳалим маҳсулотининг санитария-гигиеник тадқиқоти	191
Джураева Н.Р., Атамуратова Т.И., Исабаев И.Б., Турсунова У.О. Влияние термообработки на микробную контаминацию эмульсионных жиромучных композитных смесей	194
Abhijit Tarawade, Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А. Исследование процесса сушки плодов тутовника	200
Исматова Ш. Н. Разработка белковой кормовой добавки к комбикормам для птиц на основе вторичного сырья и пробиотической микрофлоры	206
Бахтияров С.Б., Курамбаев Ш.Р., Аллаберганова У.Б. Модификация каолина Султан-Увайс и применение полученного каолина при очистке хлопкового масла	211
Холов Ф.Ў., Курбонов М.Т. Омихта ем ишлаб ишлаб чиқаришда ноанъанавий хомашёлар тавсифи	217
ТЎКИМАЧИЛИК ВА ЕНГИЛ САНОАТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ	
Рўзиев Н.Н., Исакулов В.Т., Тўлаганова М.В. Ҳалқали йиғириш машинасида пахта ва кимёвий пиликлардан йиғирилган “SIRO” ипи ишлаб чиқаришда ип хоссаларига урчук тезлигининг таъсири	222
Абдукаримов Т.Т., Рахимов Ф.Х., Қосимов Х.Х. Пахтадан оғир аралашмаларни ажратиб олувчи қурилмада тажрибалар ўтказиш йўли билан тозалаш самарадорлигини аниқлаш	229
Ulug‘muradov X., Sharopov B., Muradov R., Novruzov S. Konus shakldagi to‘rli yuzada paxtaning harakatini o‘rganish	236
Ражапова М.Н., Ташпулатов С.Ш., Очилов Т.А. Кўйлакбоп газламаларнинг технологик кўрсаткичларининг ўзгаришини тадқиқ қилиш	240
Мирзаев О. А., Адизова А. Дж. Теоретическое изучение давления вращающегося дискретизирующего барабанчика на ось вращения	247
Komilov Sh.R., Mamadaliyev N.V., Roxmonov D.A., Axmedxodjayev X.T. Jin mashinasining samaradorligini oshirish maqsadida ishchi kamera konstruksiyasini takomillashtirish	256
Мухамеджанова С.Дж., Джураев А., Мансурова М.А. Анализ влияния силы натяжения игольной нити на смещение оси амортизирующей втулки составного ролика нитенаправителя в швейной машине	261
Амонов А.Р., Бехбудов Ш.Х., Мансурова М.А., Джураев А., Брезент материаллари чокларида полимер қопламасини қўллаш натижасида чоклар узилиш кучини аниқлаш бўйича тажрибавий тадқиқотлар натижалари	266
Ражабова Г.Ж. Технологик схеманинг таҳлили	274
Кўшимов А.А., Саломова М.А., Мурадов Р.М. Пахтани ташувчи қурилма конструкциясини такомиллаштириш	279

Мусаев С.С., Самиева Г.О., Тешабоев У.У. Разработка многокомпонентной термопластичной полимерной композиции для низа обуви	285
Шамсиева М.Б., Рустамов Б.И., Қурбонов А.Э. Қоракўл мўйнани ёғлантириш жараёнида қўлланиладиган маҳаллий чиқинди ёғловчи модда тадқиқи	291
Джураев А., Сайитқулов С.О., Комилов Н. Пахтани майда чиқиндилардан тозалаш машинасининг ишчи органлари тадқиқи	296
Гайбуллаева Н.З., Пулатова С.У. Махсус кийим ишлаб чиқаришга мўлжалланган материалларнинг гигиеник хоссаларини қиёсий баҳолаш	301
Адизова А. Ж. Титувчи барабан тишлари илаштирган толалар ҳаракатини механик ўрганиш	306
Мухамеджанова С.Дж., Джураев А., Мансурова М.А. Колебания наружной втулки составного ролика нитенаправителя в швейной машине	312
АНИҚ ВА ИЖТИМОЙ-ИҚТИСОДИЙ ФАНЛАР	
Аслонова К.А., Эсанов Ҳ.Қ., Шамсиева Ш.Р. Бухоро воҳаси юксак ўсимликларининг фойдали хусусиятлари	318
Сунил Верма, Зулпанов Ш.У., Султанова Ш.А., Сафаров Ж.Э. Исследование сушка листьев шелковицы (Morus alba)	323
Бафоев Ф. М. [©] Современные тенденции мировой политики в контексте открытых общественных систем	329
Abdulkhayev Z.E., Madrakhimov M.M. Study of the electrically conductive liquid metals' flow in a rectangular channel	332
Юнусова Г. С. Тасаввуф таълимотида қалб ва нафс тарбияси	337
Ражабова Г. Ж. Миллий анъана ва креативлик	344
Рахматуллаева М. Ф. Состояние GaAs и перспективы использования в солнечных элементах	348
Бахриддинова Н. М. Корхоналарда ишлаб чиқариш санитарияси ва гигиенасини ташкил этиш муаммолари	355
Azimova N. F. Romantik tuyg‘u va ruhiyat manzaralari	360
Шарипов Б. Х. Сурхондарё вилояти ҳамда Ўзбекистон ҳудудидаги қадимги шаҳарсозлик, архитектура элементлари ва уларнинг янги давр архитектурасидаги ўрни	365

ВАЛИДАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ГЕЛИОСУШИЛКИ

¹Назарова Н.М., ²Назаров М.Р.

¹Бухарский государственный университет,

²Педагогический институт Бухарского государственного университета

Аннотация. В настоящей работе представлена математическая модель солнечной рециркуляционной солнечной установки. Для валидации представленной математической модели, расчётные результаты были сопоставлены с экспериментальными результатами. В качестве исходных данных были использованы суточные изменения температуры окружающей среды и плотности потока, падающего суммарного солнечного излучения. Результаты статистического анализа суточных ходов изменения температуры внутри солнечной сушилки показывают хорошие совпадения.

Ключевые слова: валидация, солнечная сушилка, рециркуляция, математическая модель.

RESTERKULYASTIYALI GELIOQURITGICH MATEMATIK MODELING VALIDATSIYASI

¹Nazarova N.M., ²Nazarov M.R.

¹Buxoro davlat universiteti,

²BuxDU Pedagogika instituti

Annotatsiya. Ushbu maqolada resterkulyastiyali gelioquritgich qurilmasining matematik modeli keltirilgan. Taqdim etilgan matematik modelni tasdiqlash uchun hisoblash natijalari eksperimental tajriba natijalari bilan solishtirilgan. Dastlabki ma'lumotlar sifatida atrof-muhit haroratining o'zgarishi va qurilmaga tushadigan to'la quyosh nurlanishining oqim zichligi kabilardan foydalanildi. Quyosh quritgich ichidagi haroratning sutkalik o'zgarishlarini statistik tahlil natijalari tajriba natijalari bilan yaxshi mos keladi.

Kalit so'zlar: validatsiya, quyosh quritgich, resirkulyatsiya, matematik model.

VALIDATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF A RECIRCULATING SOLAR DRYER

¹Nazarova N.M., ²Nazarov M.R.

¹Bukhara State University,

² Bukhara State Pedagogical University

Annotation. This paper presents a mathematical model of a solar recirculating solar installation. To validate the presented mathematical model, the calculated results were compared with the experimental results. As the initial data, we used daily changes in ambient temperature and flux density, incident total solar radiation. The results of the statistical analysis of the diurnal variations in the temperature inside the solar dryer show positive agreement.

Key words: validation, solar dryer, recirculation, mathematical model.

Введение. Известно, что сушка сельхозпродуктов в гелиоустановках обладает рядом экономических преимуществ по сравнению с сушкой на открытых площадках. Однако сушка на открытом воздухе до сих пор широко практикуется в большинстве развивающихся стран. В основном, продукты сушат на земле, на бетоне и даже на дорогах под солнцем [1]. Кроме того, такая сушка в некоторых климатических условиях приводит к потере количества и качества конечного продукта [2]. По оценкам в развивающихся странах общие послеуборочные потери составляют до 50 % [3], и иногда до 40 % собранных культур не доходят до конечных потребителей из-за послеуборочных потерь в цепочке поставок [4].

В настоящее время по всему миру ведутся научно-исследовательские работы по разработке различных типов гелиосушильных установок. В процессе сушки солнечным излучением солнечная энергия используется либо как основной, либо как дополнительный источник тепла. Поток сушильного агента (нагретый воздух) может управляться естественной или принудительной конвекцией, а предварительно нагретый воздух может проходить через продукт без воздействия прямого солнечного излучения или прямого воздействия солнечного излучения. Также возможна комбинация обоих режимов [5].

Несколько критериев, таких как характеристики сушки продукта, требования к качеству и расходы на сушку, влияют на окончательный выбор гелиосушилок [6, 7].

Гелиосушилки - это более или менее простые установки. Эти установки варьируются от очень примитивных, используемых в небольших отдаленных населенных пунктах, до более сложных промышленных установок. Хотя последних всё ещё очень мало, они находятся в стадии разработки. Окончательно классифицировать гелиосушилки - непростая задача, поскольку существует множество конфигураций, многие из которых являются эмпирическими. Их можно классифицировать по различным режимам, например, по типу сушилки, рабочей температуре или сушильный материал, режим работы, например, периодический или непрерывный и т.д. В работе [8] дана систематическая классификация, основанная на конструкции и способе использования солнечной энергии. Все разработанные гелиосушильные установки по конструктивным особенностям и их принципам действия можно разделить на камерные (конвективные), солнечно-радиационные и комбинированные [9-11].

В работе [12] приведён обзор различных конструкций и принципов работы широкого спектра гелиосушилок. Авторы также представляют полную классификацию гелиосушилок. В зависимости от процесса сушки (прямая или косвенная) сушилки могут быть классифицированы как пассивные сушилки, нагреваемые непосредственно от солнечного излучения с естественной циркуляцией воздуха или без нее, и активные солнечные сушилки (с принудительной конвекцией), где сушильный агент циркулирует с помощью вентилятора [13]. Несмотря на множество конфигураций активных гелиосушилок с принудительной циркуляцией, они состоят почти из одних и тех же основных отдельных частей [13]: камера, туннель используется как пространство для высушиваемого материала, например, солнечный коллектор используется как система нагрева сушильного агента, вентиляторы используются в качестве системы циркуляции сушильного агента и т.д.

Всесторонние обзорные работы по конструкции гелиосушилок представлены в работах [13-21]. Комплексный обзор по конструкции гелиосушилок для косвенной сушки различных продуктов приведён в работе [22]. Авторы работы [23, 27] представили обзор гелиосушилок, разработанных для сушки винограда. В работе [24] авторы представили комбинированную гелиосушилку для сушки грибов с использованием материалов с фазовым переходом. Следует отметить, что в последние годы исследователи начали разрабатывать комбинированные гелиосушилки (радиационные-конвективные) для плодоовощной продукции, работающие на принудительной циркуляции сушильного агента [25-27]. Однако такие установки являются стационарными, предназначены для сушки больших объёмов продукции. Широкое развитие частных хозяйств, производящих различную сельскохозяйственную продукцию, требует наличия упрощённых, мобильных вариантов солнечных сушильных установок, которые не требуют больших капитальных и эксплуатационных затрат, могут устанавливаться в сезон сушки в местах производства сельхозпродукции [28. с.5].

Моделирование гелиосушилки. Моделирование солнечной сушки - намного более сложный процесс по сравнению с обычной сушкой, в которой обдувается горячий воздух. Моделирование принципа работы гелиосушилок усложняется из-за следующих явлений: (1) колебания падающего солнечного излучения и условий окружающей среды (температура, относительная влажность), (2) явления частичной регидратации продукта в ночное время, и (3) использования вспомогательных систем отопления или воздушного потока и аккумуляции тепловой энергии, которые используются для смягчения колебания параметров окружающей среды и обеспечения непрерывной работы [29-30]. Более того решающую роль также играет тепло- и массообмен с турбулентным потоком

воздуха через пограничный слой в дополнение к процессам переноса внутри высушенного материала.

Отметим, что основная цель исследования направлена на повышение эффективности сушилок и получение качественной сушёной продукции за счёт рационального использования альтернативных источников энергии и анализа новейшей технологии гелиосушки.

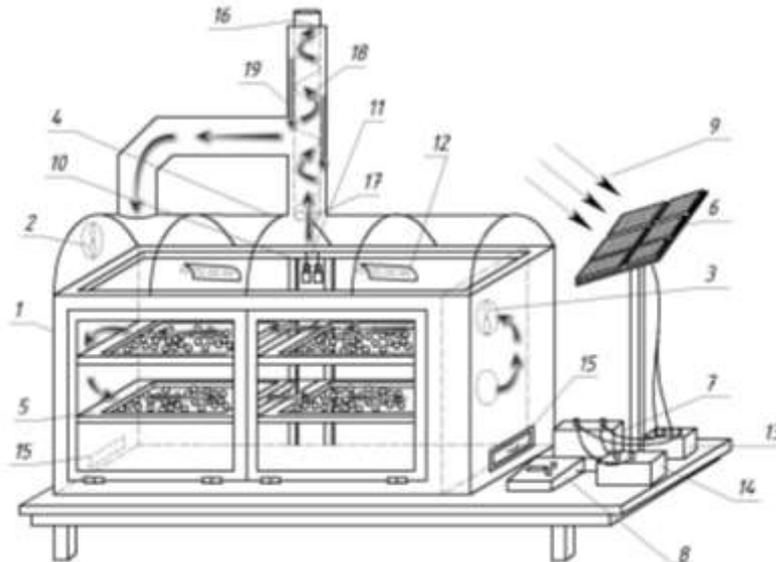


Рис.1. Принципиальная схема солнечной сушильной установки

1 – сушильная камера; 2 – вентилятор 1 (для выброса влажного воздуха); 3 – вентилятор 2 (для активной вентиляции); 4 – прозрачная изоляция; 5 – поддоны для высушиваемой продукции; 6 – солнечная батарея (СБ); 7 – аккумулятор; 8 – ПУ (пульт управления); 9 – солнечные лучи; 10 – датчик температуры; 11 – датчик влажности воздуха; 12 – ИК лампы; 13 – контроллер; 14 – инвертор; 15 – входная форточка; 16 – вытяжная труба; 17 – вытяжной вентилятор; 18 – шнековое устройство; 19 – рекуперативный теплообменник.

Уравнения теплового баланса для продукта внутри сушильной камеры [31]:

$$C_{\text{пр}} M_{\text{пр}} \frac{dT_{\text{пр}}}{dt} = \alpha_{\text{к1}} (T_{\text{а}} - T_{\text{пр}}) S_{\text{пр}} - (\alpha_{\text{к2}} + \alpha_{\text{исп}}) (T_{\text{пр}} - T_{\text{вв}}) S_{\text{пр}} + \alpha_{\text{пр}} S_{\text{пр}} q_{\text{пад}}^{\Sigma}, \quad (1)$$

где $C_{\text{пр}}$, $M_{\text{пр}}$, $T_{\text{пр}}$ - удельная теплоёмкость, масса и температура продукта, соответственно; $\alpha_{\text{к1}}$ - коэффициент теплоотдачи с конвекцией от горячего воздуха к продукту; $\alpha_{\text{к2}}$, $\alpha_{\text{исп}}$ - коэффициенты теплоотдачи с испарением и конвекцией от продукта к влажному воздуху; $S_{\text{пр}}$ - площадь поверхности продукта; $T_{\text{а}}$ - температура входящего горячего воздуха; $T_{\text{вв}}$ - температура влажного воздуха; $\alpha_{\text{пр}}$ - коэффициент лучепоглощения продукта; $q_{\text{пад}}^{\Sigma}$ - падающее суммарное солнечное излучение; t - время.

Уравнение теплового баланса для влажного воздуха в сушильной камере:

$$C_{\text{вв}} M_{\text{вв}} \frac{dT_{\text{вв}}}{dt} = (\alpha_{\text{к2}} + \alpha_{\text{исп}}) (T_{\text{пр}} - T_{\text{вв}}) S_{\text{пр}} - \alpha_{\text{к3}} (T_{\text{вв}} - T_{\text{ст}}) S_{\text{ст}} - c_d S_e \sqrt{2g\Delta H\Delta P}, \quad (2)$$

где $C_{\text{вв}}$, $M_{\text{вв}}$, $T_{\text{вв}}$ - удельная теплоёмкость, масса и температура влажного воздуха; c_d - коэффициент разряда сушильной установки; S_e - поверхность выходного отверстия; $\alpha_{\text{к3}}$ -

коэффициент теплообмена с конвекцией от влажного воздуха к стене установки; $S_{ст}$ - площадь поверхности стены; g - ускорение свободного падения.

Разница напора ΔH (м) и разница парциального давления ΔP (Н/м²) выражаются как [32]:

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho_v g} \quad (3)$$

$$\Delta P = P(T_{вв}) - \gamma P(T_o) \quad (4)$$

$$P(T) = \exp\left(25.317 - \frac{5144}{T + 273.15}\right) \quad (5)$$

где ρ_v - плотность влажного воздуха; γ - психрометрическая постоянная; P - парциальное давление рассматриваемой среды (влажного воздуха внутри камеры, наружного воздуха);

Уравнение теплового баланса для стены сушильной камеры:

$$C_{ст} M_{ст} \frac{dT_{ст}}{dt} = \alpha_{кз} (T_{вв} - T_{пр}) S_{ст} - \alpha_d (T_{ст} - T_o) S_{ст}, \quad (6)$$

где $C_{ст}$, $M_{ст}$, $T_{ст}$, $S_{ст}$ - удельная теплоёмкость, масса, температура и площадь поверхности стены, соответственно; α_d - коэффициент теплоотдачи от стены в окружающую среду; T_o - температура окружающей среды.

Для прогнозирования производительности системы мгновенный тепловой КПД сушилки можно выразить как:

$$\eta = \frac{\alpha_{исп} (T_{пр} - T_{вв})}{\sum q_{пад}} 100, \quad (7)$$

Уравнение скорости сушки:

$$\left(-\frac{dM}{dt}\right) = k(M - M_e) \quad (8)$$

где M - мгновенное содержание влаги; M_e - равновесное содержание влаги в овощах или влажных сельскохозяйственных продуктах; k - постоянная сушки, связанная с температурой влажного воздуха, определяется следующим соотношением:

$$k = -9.75 \cdot 10^{-4} + 3.29 \cdot 10^{-6} T_{вв} \quad (9)$$

$$X_e = \frac{W_m C K a_w}{(1 - K a_w)[1 + (C - 1) K a_w]} \quad (10)$$

где W_m , C и K - параметры, связанные с температурой воздуха, определяются следующими выражениями:

$$W_m = 0.0014254 \exp\left(\frac{1193.2}{T_k}\right) \quad (11)$$

$$C = 0.5923841 \exp\left(\frac{1072.5}{T_k}\right) \quad (12)$$

$$K = 1.00779919 \exp\left(-\frac{43.146}{T_k}\right) \quad (13)$$

Коэффициент влажности (пониженная влажность) влажного сельскохозяйственного продукта определяется выражением:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \approx \frac{M_t}{M_0} = \exp(-kt) \quad (14)$$

где M_0 – начальная влажность продукта.

Коэффициент конвективной теплопередачи между горячим воздухом и сельскохозяйственным продуктом был выражен как:

$$\alpha_{k1} = \alpha_{k2} = Nu \frac{\lambda_B}{D} \quad (15)$$

Для турбулентного потока:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (16)$$

$$0.7 \leq Pr \leq 120, 10^4 \leq Re \leq 1.2 \cdot 10^5 \quad (17)$$

Число Рейнольдса выражается как:

$$Re = \frac{U_a l}{\vartheta} \quad (18)$$

Для турбулентного потока:

$$Nu = 0.036 Re^{0.8} Pr^{0.33} \quad (19)$$

$$Pr \geq 0.5, Re > 5 \cdot 10^5 \quad (20)$$

где Nu - число Нуссельта; Pr - число Прандтля; Re - число Рейнольдса; λ_B - коэффициент теплопроводности влажного воздуха; D - характерный диаметр слоя продукта; U_a - скорость воздуха; l - характерный размер; ϑ - кинематическая вязкость влажного воздуха.

Коэффициент теплопроводности по изоляции оценивается по формуле:

$$\alpha_d = \frac{\lambda_i}{d_i} \quad (21)$$

где λ_i , d_i - коэффициент теплопроводности и толщина рассматриваемого слоя изоляции соответственно.

Коэффициент теплоотдачи испарением равен:

$$\alpha_{исп} = 0.016 \alpha_{k1} \frac{[P(T_{np}) - \gamma P(T_{вв})]}{T_{np} - T_{вв}} \quad (22)$$

Для решения дифференциальных уравнений (1) - (6) с граничными условиями, приведёнными на рис.1, использован метод преобразования Лапласа (операционный метод).

Математическая статистика проверки модели. Статистический анализ предлагаемой математической модели осуществлялся сопоставлением экспериментальных результатов, проведённых в 5-6.09.2020 г. с расчётными результатами.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (T_{M_i} - T_{Э_i})^2}{\sum_{i=1}^N (T_{M_i} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{M_i})^2} \quad (23)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_{M_i} - T_{Э_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

Значения коэффициента детерминации (R^2) и среднеквадратичной ошибки (RMSE) используются для определения качества математической модели солнечной сушильной установки. Для оценки модели выбираются самые высокие значения R^2 , а также наименьшего значения RMSE [33].

Результаты и обсуждение. Для проверки достоверности предлагаемой математической модели проведён статистический анализ, где расчётные результаты сопоставлены с экспериментальными результатами, проведёнными в 5-6.09.2020 г. Суточные изменения температуры окружающей среды и плотности потока, падающего суммарного солнечного излучения приведены на рис 2. Как показывают результаты измерения, максимальная температура окружающей среды наблюдается в 14:00, тогда как пиковое значение плотности потока, падающего суммарного солнечного излучения наблюдается в 12:00.

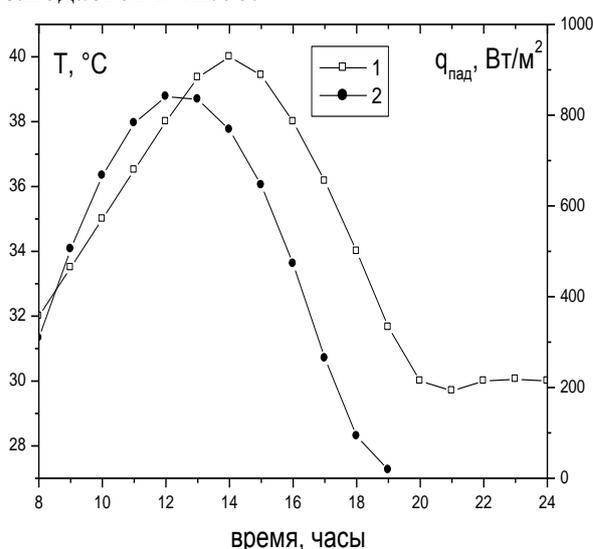


Рис.2. Суточные изменения (1) температуры окружающей среды и (2) плотности потока, падающего суммарного солнечного излучения.

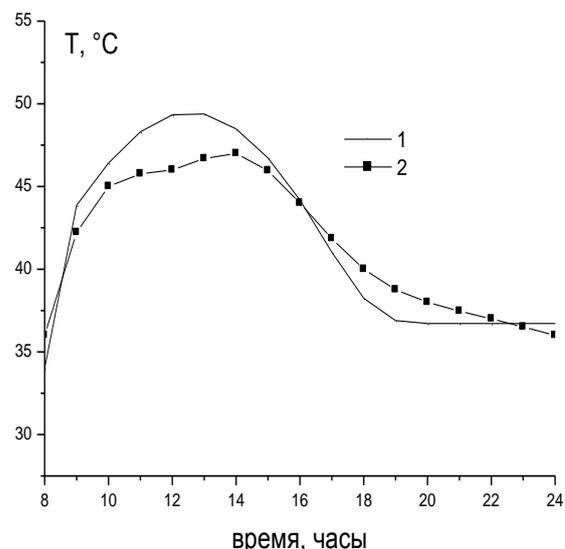


Рис.3. Суточные изменение температуры внутри сушилки: 1-расчётные результаты; 2-экспериментальные результаты.

Как показывают результаты статистического анализа суточных ходов изменения температуры внутри солнечной сушилки: RMSE - среднеквадратическая ошибка равна 2.3°C, среднеквадратичная ошибка в процентах равна 5.7 %, и квадрат коэффициента корреляции равен 0.86. Основной сдвиг между результатами экспериментальных и расчётных данных наблюдается в пиковых значениях температуры.

Заключение

В данной работе представлена математическая модель солнечной рециркуляционной солнечной установки. Для проверки достоверности предлагаемой математической модели проведён статистический анализ, где расчётные результаты сопоставлены с экспериментальными результатами. В качестве исходных данных были использованы суточные изменения температуры окружающей среды и плотности потока,

падающего суммарного солнечного излучения. Результаты статистического анализа суточного изменения температуры внутри солнечной сушилки показывают хорошие совпадения.

Список использованной литературы:

1. Janjai S., Bala B.K. (2012) Solar drying technology. *Food Eng Rev* 4:16–54.
2. Pangavhane D.R., Sawhney R.L., Sarsavadia P.N. (2002) Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer. *Energy* 27:579–590.
3. Tembo L., Chiteka Z.A., Kadzere I., Akinnifesi F.K., Tagwira F. (2008) Blanching and drying period affect moisture loss and vitamin C content in *Ziziphus mauritiana* (Lamk.) *Afr J Biotechnol* (8): 3100–3106.
4. Esper A., Muhlbauer W. (1998) Solar drying – an effective means of food preservation. *Renew Energy* 15:95–100.
5. Ekechukwu O.V., Norton B. (1999) Review of solar-energy drying systems II an overview of solar drying technology. *Energy Convers Manag* 40: 615–655.
6. Augustus Leon M., Kumar S., Bhattacharya S.C. (2002) A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers. *Renew Sust Energ Rev* 6: 367–393.
7. Purohit P., Kumar A., Kandpal T.C. (2006) Solar drying vs. open sun drying: a framework for financial evaluation. *Sol Energy* 80:1568–1579.
8. Leon M.A., Kumar S., Bhattacharya S.C. (2002) A comprehensive procedure for performance evaluation of solar dryers. *Renew Sustain Energy Rev* 6:367–393.
9. Умаров Г.Г. Гелиосушилка растительных сельхозпродуктов: Обоснование параметров процесса и разработка эффективных гелиоустановок. Дисс.докт. тех.наук. Ашгабад. 1989.- 43 с.
10. Хайриддинов Б.Э. Разработка, исследования и внедрение гелиотеплицы сушилки с подпочвенным аккумулятором тепла. Дисс... докт. тех. наук. Ашгабад. 1990.- 423с.
11. Умаров Г.Г., Мирзияев Ш.М., Юсупбеков О.Н. Гелиосушка сельхозпродуктов. Издательство “Фан”, Ташкент. 1995., С 152.
12. Ekechukwu O.V., Norton B. (1999 a) Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Energy Convers Manage* 40(6):615–655.
13. Belessiotis V., Delyannis E. (2011) Solar drying. *Sol Energy* 85:1665–1691.
14. Fudholi A., Sopian K., Ruslan M.H., Alghoul M.A., Sulaiman M.Y. (2010) Review of solar dryers for agricultural and marine products. *Renew Sust Energ Rev* 14:1–30.
15. Sontakke M.S., Salve S.P. (2015) Solar drying technologies: a review. *IntroReferee J Eng Sci (IRJES)* 4(4):29–35.
16. Vijaya Venkata Ramana S., Iniyamb S., Goicc R. (2012) A review of solar drying technologies. *Renew Sust Energ Rev* 16:2652–2670.
17. Ekechukwu O.V., Norton B. (1999b) Review of solar-energy drying systems III: low temperature air-heating solar collectors for crop drying applications. *Energy Convers Manag* 40 (6) : 657–667.
18. Sharma A., Chen C.R., Lan N.V. (2009) Solar-energy drying systems: a review. *Renew Sust Energ Rev* 13:1185–1210.
19. Mustayen AGMB, Mekhilef S., Saidur R. (2014) Performance study of different solar dryers: a review. *Renew Sust Energ Rev* 34:463–470.
20. Toshniwal U., Karale S.R. (2013) A review paper on Solar Dryer. *Int J Eng Res Appl (IJERA)* 3(2): 896–902.
21. El-Sebaei A.A., Shalaby S.M. (2012) Solar drying of agricultural products: a review. *Renew Sust Energ Rev* 16:37–43.
22. Phadke P.C., Walke P.V., Kriplani V.M. (2015) A review on indirect solar dryers. *ARPN J Eng Appl Sci* 10(8):3360–3371.

23. Jairaj K.S., Singh S.P., Srikant K. (2009) A review of solar dryers developed for grape drying. *Sol Energy* 83:1698–1712.
24. Reyes A., Mahn A., Va'squez F (2014) Mushroom's dehydration in a hybrid-solar dryer, using a phase change material. *Energy Convers Manag* 83:241–248.
25. Набиханов Б.М. Интенсификация процесса гелиосушки яблок и винограда с дискретной вентиляцией. Дисс. ... канд. тех. наук. Ташкент. 1990. - 130с.
26. Назаров М.Р. Разработка и исследование эффективности опытно-производственной радиационно-конвективной солнечной сушильной установки для плодов и ягод. Дисс. канд.тех.наук.Ташкент, 1998. с 19.
27. Тоиров З. Комбинированная гелиоустановка для сушки плодов и винограда. *Гелиотехника*, 1982. №1. - 61с.
28. Ильясов С.Г. и др. Терморadiационно-конвективная сушка винограда с предварительной обработкой ИК излучением. *Известие Вузов. Пищевая технология*, №3 1989, -С 107-110.
29. Chua K.J., Chou S.K. (2003) Low cost drying for developing countries. *Food Sci Technol* 14:519–528.
30. W.Muhlbauer and J.Muller. *Drying Atlas*. Cambridge, England: Woodhead Publishing, 2020.
31. Oueslati H., Mabrouk S.B., Mami A. Thermal Modeling of Solar Dryer - Numerical Simulation, Analysis and Performance Evaluation / *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, Vol. 26, No. 4 (2018) 1850032 (12 pages).
32. Goyal R.K., Tiwari G.N. Parametric study of a reverse flat plate absorber cabinet dryer: a new concept. *Solar Energy* Vol. 60, No. I, pp. 41-48, 1997.
33. Kobayashi K., Salam M.U., 2000. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agron. J.* 92 (2), 345–352.

*Назарова Н.М. - Бухарский государственный университет. Тел.: 90-513-85-22.
E-mail: nazarova_nargiza85@ta il.ru*

Назаров М.Р. - Педагогический институт Бухарского государственного университета. Тел.: 91-413-65-36.