

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи УДК. 664. 8. 047.

ХИКМАТОВ ДОНИЁР НЕМАТОВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА
КОМБИНИРОВАННОЙ СУШКИ АБРИКОСА

05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств»

А В Т О Р Е Ф А Р А Т

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Ташкент – 2011

Работа выполнена на кафедре «Автоматизация современной техники и технологических процессов» Бухарского Инженерно-технического института высоких технологий

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор **Сафаров Адил Файзуллаевич**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Академик АН РУз Эшкувватов Бегмамат Тешаевич

кандидат технических наук, доцент **Зайнутдинова Мастура Бахадировна**

Ведущая организация: Кафедра «**Агроинженерия**» ТГТУ

Защита диссертации состоится «___» _____ 2011 года в _____ часов на заседании объединённого специализированного совета Д. 067.24.03 при Ташкентском химико-технологическом институте по адресу: 100011, Ташкент, ул. Навои, 32, зал заседаний.

С диссертацией можно ознакомиться в Центре информационных ресурсов Ташкентского химико-технологического института (г.Ташкент, ул. Навои, 32).

Автореферат разослан «___» _____ 2011 г.

Учёный секретарь объединенного Додаев К.О. специализированного совета,
доктор технических наук

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность работы. Узбекистан является крупным производителем сельскохозяйственных продуктов. Объем производства плодов и овощей

составляет более 10 млн. т в год; при этом переработке традиционным и промышленным способами подвергается лишь 15-18% плодов, 10% овощей и 23% винограда от всего объема выращенного урожая.

Производство сухофруктов основано, наряду с естественной, воздушно-солнечной, еще и на промышленной сушке. Перед сушкой овощи и в особенности фрукты предварительно подвергаются различным видам обработки: окуливанию сернистым газом с целью приостановления биохимических процессов, приводящих к изменению цвета, консистенции мякоти, вкуса плодов.

Применяемые химикаты вредны для организма людей, а бланширование сопряжено еще и с потерями ценных компонентов сухих веществ. Один из перспективных способов - осмотическая и ИК-конвективная сушка плодов, обработанных в электромагнитном поле. Перспективность такого комбинированного метода сушки обусловлена:

- снижением энергетических затрат;
- улучшением качественных показателей и увеличением выхода высушенных продуктов - за счет обработки в сахарном сиропе различной в зависимости от сортов сырья концентрации, а также за счет обеспечения низкотемпературного режима технологического процесса;
- снижением эксплуатационных расходов и потерь сырья за счет применения малогабаритных сушильных установок, их изготовления и распространения в фермерских хозяйствах, на малых предприятиях.

В этой связи особую актуальность приобретает теоретическое и экспериментальное обоснование целесообразности применения комбинированного метода сушки, выявление тепло- и массообменных характеристик продукта после обработки в сахарном сиропе, исследование кинетики и динамики сушки плодов комбинированным способом.

Степень изученности проблемы. Этапы развития теории и практики различных физических методов обработки и сушки пищевых продуктов рассматривались в работах А.В. Лыкова, П.Д. Лебедева, А.С. Гинзбурга, В.В. Красникова, Б.И. Леончика, В.В. Кафарова, З.А. Каца, И.А. Рогова, В.А. Панфилова, Г.К. Филоненко, В.С. Сажина, А.А. Артикова, Г.Я. Умарова и других, где в основном рассматриваются: теоретические основы тепло- и массообменных процессов переработки продуктов; вопросы исследования технологических линий на основе методологии системного анализа, позволяющие углубить теоретические аспекты предлагаемого комбинированного способа сушки; экспериментальные установки для изучения тепло- и массообменных характеристик; исследование кинетики и динамики процесса обработки и сушки продуктов на основе разработанных математических и физических моделей.

технологического процесса комбинированной сушки плодов, снижения энергоемкости процесса, уменьшения потерь сырья и повышения качества конечной продукции, а также разработки высокоэффективной технологии соответствует приоритетным направлениям развития исследований в отрасли переработки сельскохозяйственного сырья в Узбекистане.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с государственной программой Центра по науке и технологиям при Кабинете Министров Республики Узбекистан: - 12.18 «Создание высокоэффективной технологии переработки плодов и овощей с целью получения сухофруктов и порошков с сохранением ценных компонентов» (2003- 2005г); - ИТД - 6-078 «Разработка безотходной, энерго-ресурсосберегающей инновационной технологии по комплексной переработке плодов и овощей» (2009-2011г).

Цель исследования. Цель исследования состоит в разработке комбинированного сушки плодов абрикоса с использованием новых физических способов воздействия и создании высокоэффективных энергосберегающих установок и аппаратов.

Задачи исследования:

- критический анализ современного состояния технологии и техники переработки плодов абрикоса и сушки сельхозпродуктов;
- изучение закономерностей тепло- и массообмена в мякоти плодов абрикоса под воздействием ИК - импульсного излучения и обработки сырья в сахарном сиропе;
- обоснование метода комбинированной сушки и составление аналитико-экспериментальных математических моделей исследуемых процессов, отражающих закономерности изменения свойств плодов;
- экспериментальное исследование процессов импульсного ИК воздействия и осмотической сушки плодов абрикоса в сахарном сиропе; - обоснование рациональных значений факторов, влияющих на процесс осмотической сушки и адсорбции сахарного сиропа в мякоти абрикоса; - теоретико-экспериментальное исследование процесса ИК конвективной сушки и разработка математической модели, обоснование рациональных режимов воздействия факторов на технологический процесс комбинированной сушки абрикоса;
- выработка рекомендаций по конструированию полупромышленной установки для сушки абрикоса комбинированным методом; - расчет экономической эффективности от внедрения установки в производство.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является поведение плодов абрикоса с различными физико – механическими свойствами в процессе комбинированной сушки.

Предмет исследования диссертационной работы составляет совершен-

ствование процесса комбинированной сушки абрикоса, направленное на увеличение выхода и улучшение качества готовой продукции. **Методы исследования.** При выполнении диссертационной работы использованы методы теоретических основ химической технологии, процессов и аппаратов пищевых производств, системного анализа и синтеза сложных химико-технологических процессов и систем. Научные исследования проведены с применением традиционных методов измерения температуры, влажности и расхода теплоносителей, состава и массы сырья и готовой продукции. Проведение и обработка результатов экспериментов основывается на методах планирования экспериментов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- результаты системного анализа технологической линии переработки плодов абрикоса;
- результаты экспериментального изучения гигроскопических свойств и тепло- и массообменных характеристик абрикоса;
- математическое описание, отражающее влияние различных факторов на технологические свойства обрабатываемого сырья;
- результаты изучения предварительной импульсной ИК- обработки и процесса осмотической сушки абрикоса в сахарном сиропе; - результаты исследования процесса осмотической сушки абрикоса в сахарном сиропе и разработанные математические модели; - составление математической модели процесса ИК- конвективной сушки абрикоса;
- конструктивно-технологическое оформление сушильных установок; - методика инженерного расчета процесса комбинированной сушки фруктовых плодов.

Гипотеза исследования. Основной идеей работы является аппаратная реализация эффективного комбинированного метода осмотической сушки и адсорбции сахарного сиропа в мякоти плодов абрикоса, подвергнутых воздействию ИК-излучения, исследование закономерностей совмещенного технологического процесса и обоснование методики расчета и проектирована предлагаемой установки.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- установлены закономерности изменения тепло- и массообменных характеристик мякоти плодов абрикоса в результате ИК импульсного воздействия и обработки их в сахарном сиропе;
- показана технологическая целесообразность использования нагрева ИК- излучением в технологии переработки плодов абрикоса; - получена формула для расчета равновесного влагосодержания обработанных ИК-излучением и выдержанных в сахарном сиропе плодов абрикоса в зависимости от влажности воздуха и температуры окружающей среды;
- получены эмпирические формулы для расчета: коэффициента

поглощения сахаров плодами абрикоса и изменения концентрации сиропа в зависимости от начального влагосодержания абрикоса; концентрации сахарного сиропа и соотношения массы сиропа и собственно сырья;

- экспериментально установлено, что процесс осмотической сушки абрикоса в сахарном сиропе протекает с падающей скоростью; определены коэффициенты скорости сушки и выведена формула для расчета конечной влажности абрикоса;

- получены кривые зависимости коэффициента сушки от влияющих факторов и выражения для расчета значений коэффициента сушки в период падающей скорости процесса и продолжительности сушки;

- разработана методика инженерного расчета, необходимая для научно обоснованного проектирования технологической линии комбинированной сушки различной производительности.

Научная и практическая значимость результатов исследования заключается в:

- обосновании и выработке конструктивных рекомендаций по реализации комбинированной осмотической сушки абрикосов, подвергаемых нагреву ИК-излучением и предварительно обработанных в сахарном сиропе;

- использовании в инженерной практике полученных опытных данных и формул для определения равновесного влагосодержания и энергии связи влаги со структурой плодов абрикоса;

- установлении по экспериментальным данным зависимости выхода готовой продукции от концентрации сахарного сиропа;

- увеличении выхода готовой продукции в 1,4 раза и улучшении качества сушеного абрикоса;

- научно-обоснованном выборе технологических режимов ИК конвективной сушки плодов абрикоса, предварительно обработанных в сахарном сиропе;

- разработке научно-обоснованной методики инженерного расчета комбинированной сушильной установки;

- создании научно-прикладной базы для автоматизированного проектирования высокоэффективной технологии сушки сельскохозяйственных продуктов и ее аппаратурного оформления.

Реализация результатов. На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований разработан опытно-промышленный образец установки для реализации перспективного комбинированного метода сушки, прошедший испытания на СП ООО агрофирмы «Agromir Bukhara» и была принята к внедрению (акт испытания прилагается).

Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработок диссертационной работы в производство составляет 183 млн. сумов в год.

Рассчитан и изготовлен аппарат для сушки плодов абрикоса производительностью 500 кг/сутки. Установка используется при проведении научно-исследовательских работ и в учебном процессе БухИТИВТ при

подготовке бакалавров и магистров.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на: Международной научно-практической конференции «Проблемы интенсификации технологических процессов и энергосберегающих технологий в условиях национальной экономики» (г.Бухара, 2003 г.); V Международной научно-технической конференции «Техника и технология пищевых производств» (г.Могилев, 2005 г.); Международной научно-практической конференции «Проблемы интенсификации интеграции науки и производства» (г.Бухара, 2006 г.); Юбилейной международной научно-практической конференции «Пищевая и легкая промышленность в стратегии вхождения Республики Казахстан в число 50-ти наиболее конкурентоспособных стран мира» (г.Алматы, 2007г.); «Фан ва ишлаб чикариш интеграциясини жадаллаштириш муаммолари» Республика илмий-амалий анжуман (Бухоро ш., 2007 й.); VII Международной научно-технической конференции «Техника и технология пищевых производств» (г. Могилев, 2009 г.) и на семинаре при специализированном совете Д. 067.24.03 в ТХТИ.

Опубликованность результатов. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 13 научных работах, в том числе в 2 зарубежном, 2 республиканских научных журналах; получены 2 патента на изобретения.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, основной части, состоящей из четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем работы без списка литературы и приложений составляет 101 страницу, содержит 27 рисунков и 16 таблиц. Список литературы включает 174 источников отечественных и зарубежных авторов.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, изложены цель и задачи диссертационной работы, показана научная новизна, отражена практическая значимость полученных результатов, приведены сведения об апробации работы, структуре и объеме диссертации.

В первой главе проанализировано современное состояние и тенденции развития теории и техники процесса сушки. Рассмотрены результаты исследований процесса сушки, способы и устройства для сушки плодов. Глава носит обзорно-постановочный характер и направлена на формирование основной концепции исследования. В ней трактуются некоторые вопросы анализа и синтез технологических систем комплексной переработки плодов абрикоса. Методами системного анализа выполнен расчет уровня целостности и стабильности исследованной системы, выявлена

низкоорганизованная область технологического процесса переработки плодов абрикоса. На основе анализа фактического материала, привлеченного

7

к аналитическому литературному обзору, выполнена уточненная постановка цели и задач исследования.

Во второй главе приведены результаты исследования свойств абрикоса как объекта сушки. Изучены теплофизические характеристики абрикоса. Приведено описание экспериментальной установки и обоснованна методика исследования гигроскопических свойств плодов. Изучены гигроскопические свойства абрикоса в ходе комбинированной сушке. Исследованы: связь влаги со структурой мякоти абрикоса, ее пористость, а также терморadiационные характеристики плодов.

Результаты исследования изотерм десорбции плодов абрикоса при различных температурах ($t=25-60^{\circ}\text{C}$) и относительной влажности воздуха $\phi = 10-80\%$) приведены в табл.1 и на рис.1.

(

Таблица 1.

Результаты исследования изотерм десорбции

Продукты	Т, °C	φ Относительная влажность воздуха,						
		10	20	30	40	50	60	70
Абрикос	25	7,2	8,2	11,3	14,0	17,5	21,5	26,1
	60	5,1	5,6	7,2	9,2	13,8	16,8	18,6
Абрикос, предварительно обработанный ИК-лучами	25	6,5	7,3	10,1	12,5	15,9	18,8	23,0
	60	4,8	5,1	6,5	8,3	12,0	15,0	16,8
Абрикос, обработанный ИК-лучами и выдержанный в сахарном сиропе	25	9,3	10,8	15,7	20,1	24,0	28,1	33,7
	60	7,3	8,3	11,8	15,6	19,4	23,8	28,3

Обработкой опытных данных получена следующая эмпирическая формула для расчета равновесного содержания влаги в абрикосах, обработанных ИК- лучами и выдержанных в сахарном сиропе, в зависимости от влажности воздуха и температуры среды:

$$W_p^c = A + B(t) + C(t)(\lg(1/1-\phi))^{1/2}, \quad (1)$$

где, ϕ - относительная влажность воздуха; $\phi = P_p / P_n$; W_p^c - равновесная влажность абрикоса в ходе десорбции, %; P_n - парциальное давление насыщенного пара, кПа; P_p - парциальное давление пара, кПа.

Коэффициенты А, В и С определяются для каждой из найденных характерных зон.

Для второй зоны (полимолекулярной влаги) формула для определения равновесной влажности абрикоса после ИК- воздействия и выдержки в сиропе с концентрацией 70% при значениях относительной влажности воздуха от 10 до 70 % и температуры от 25 до 60 $^{\circ}\text{C}$ имеет следующий вид:

$$1)^{0,5} \quad (2)$$

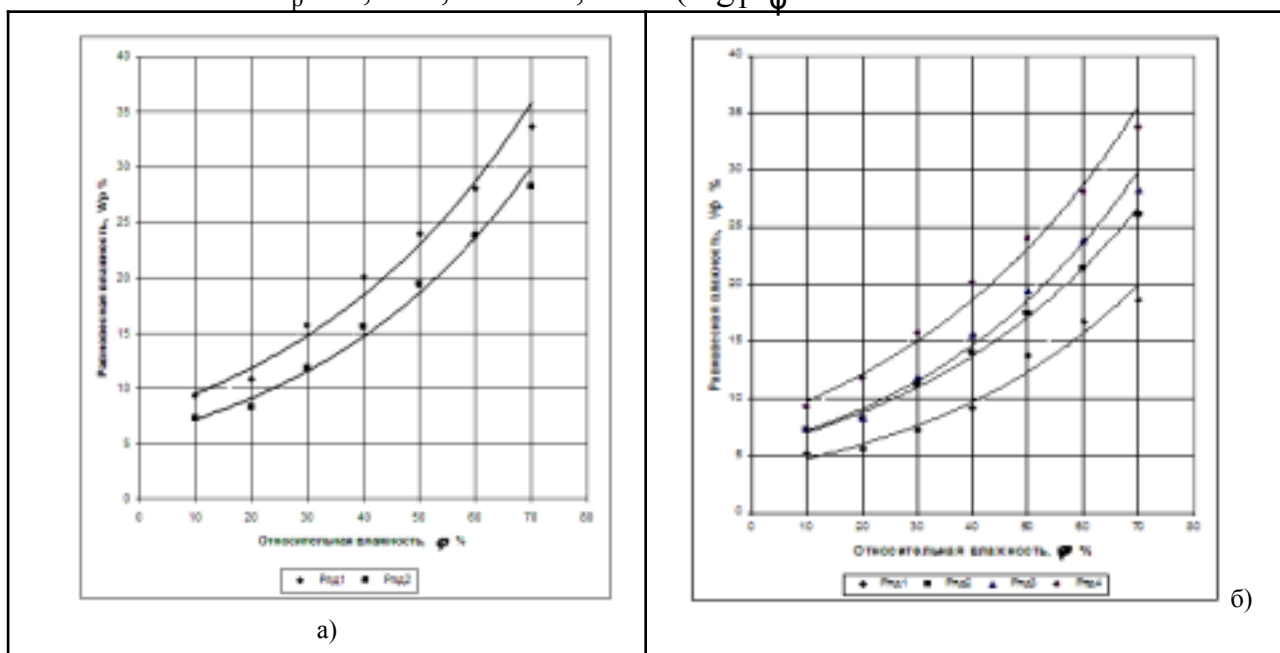
$$W_p = 6,47 - 0,265t + 18,17t^{0,25}(\log_1 - \phi$$

Для третьей зоны (микрокапиллярной влаги) имеем

8

$$1)^{0,5} \quad (3)$$

$$W_p = 41,5 - 0,78 t - 15,54t^{0,25}(\log_1 - \phi$$



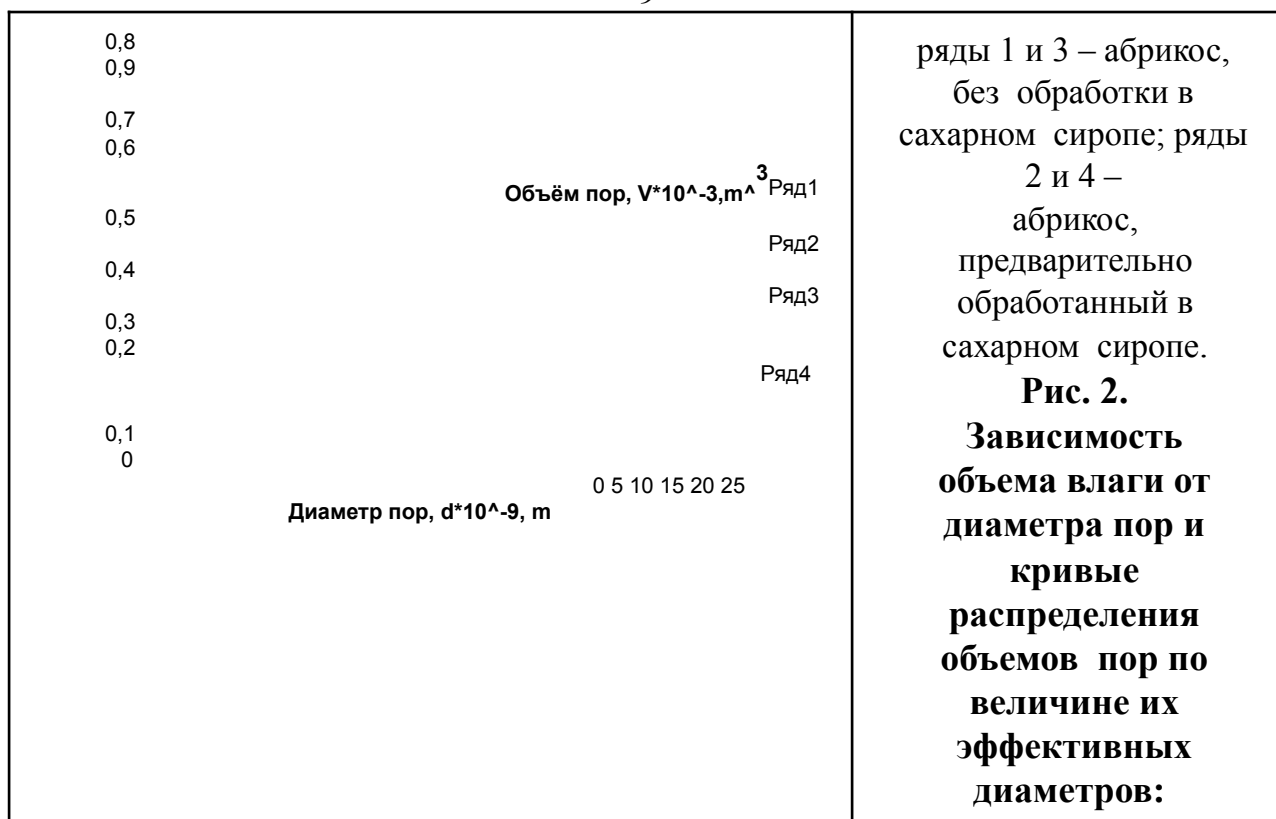
а) предварительно выдержанный в сахарном сиропе, ряд 1 – $t = 25^{\circ}\text{C}$; ряд 2 – $t = 60^{\circ}\text{C}$; б) ряды 2 и 4 при $t = 25^{\circ}\text{C}$; ряды 1 и 3 при $t = 60^{\circ}\text{C}$; ряды 1 и 2 – абрикос, не обработанный ИК - облучением; ряды 3 и 4 – абрикос, предварительно обработанный ИК - облучением.

Рис 1. Изотермы десорбции плодов абрикоса в зависимости от способа их обработки.

Выполненный по методике А.С. Гинзбурга расчет энергии связи влаги с материалом показал, что в мякоти абрикоса с влажностью 56-25% энергия связи составляет от 280 Дж/моль до 1200 Дж/моль, а при влажности 25-18% этот показатель изменяется в диапазоне от 1200 до 1700 Дж/моль. В связи с чем при расчете затрат тепла на сушку абрикоса до влажности 25% удельная теплота испарения должна быть увеличена на 4,0%-5,0 %.

Результаты определения эффективного диаметра пор и пористости мякоти абрикоса приведены на рис.2. Как видно из рисунка, максимум кривой распределение диаметра пор необработанной мякоти абрикоса находится при значении 2,5 нм. Для обработанного в сахарном сиропе, абрикоса распределение максимума диаметр пор в мякоти перемещается на отрезок от 4,0 нм. до 7,5 нм. По изотерме десорбции начало перегиба кривой соответствует значению $P_n/P_h = 0,5$. Следовательно, большая часть пор в клетках абрикоса, обработанного в сахарном сиропе при температуре окружающей среды 25°C и влажности воздуха от 35 до 65 %, составляет от 2,2 до 7,5 нм, а для необработанных плодов этот показатель составляет от 2,0 до 5,0 нм, т.е. они могут быть отнесены к микропорам, что характерно для коллоидно-капиллярно-пористых тел.

9



Анализ результатов исследования изотермы десорбции абрикоса показывает, что в абрикосе после ИК- обработки влага в полимолекулярном участке уменьшается в 1,15 раз. Объем абрикоса, выдержанного в сахарном сиропе после ИК- обработки, увеличивается до 1.4 раза. Следовательно, при импульсном воздействии ИК- излучения с длиной волны максимум 1,1 мкм частично разрушается клеточная структура мякоти абрикоса, а при выдержке в сахарном сиропе увеличивается влагоудерживающая способность клеток - за счет проникновения сахара.

Третья глава посвящена обсуждению результатов экспериментального исследования тепло- и массообменных процессов при сушке абрикоса. Приводится описание экспериментальных установок, методик проведения экспериментов и обсуждаются их результаты.

Исследование процесса предварительной обработки плодов в электромагнитном поле инфракрасного диапазона проведено на экспериментальной установке, разработанной на кафедре «Автоматизация современной техники и технологических процессов» Бухарского Инженерно-технического института высоких технологий.

Для исследования процесса сушки плодов в сахарном сиропе изготовлена установка, которая показана на рис. 3. Установка состоит из ванны, днище которой имеет наклон $5-7^{\circ}$ в одном направлении; на днище горизонтально устанавливается сетчатый под. Продукт в специальном сетчатом контейнере устанавливают в ванну и орошают заблаговременно приготовленным сиропом в определенном соотношении с продуктом с концентрацией от 50 до 70% из сироповарочного аппарата. С целью

равномерной обработки сироп, через наклонное днище, вытекает и насосом вкачивается в теплообменник. Здесь сироп нагревается до заданной температуры (от 40 до 70°C). Нагретый сироп под давлением подается обратно в ванну.

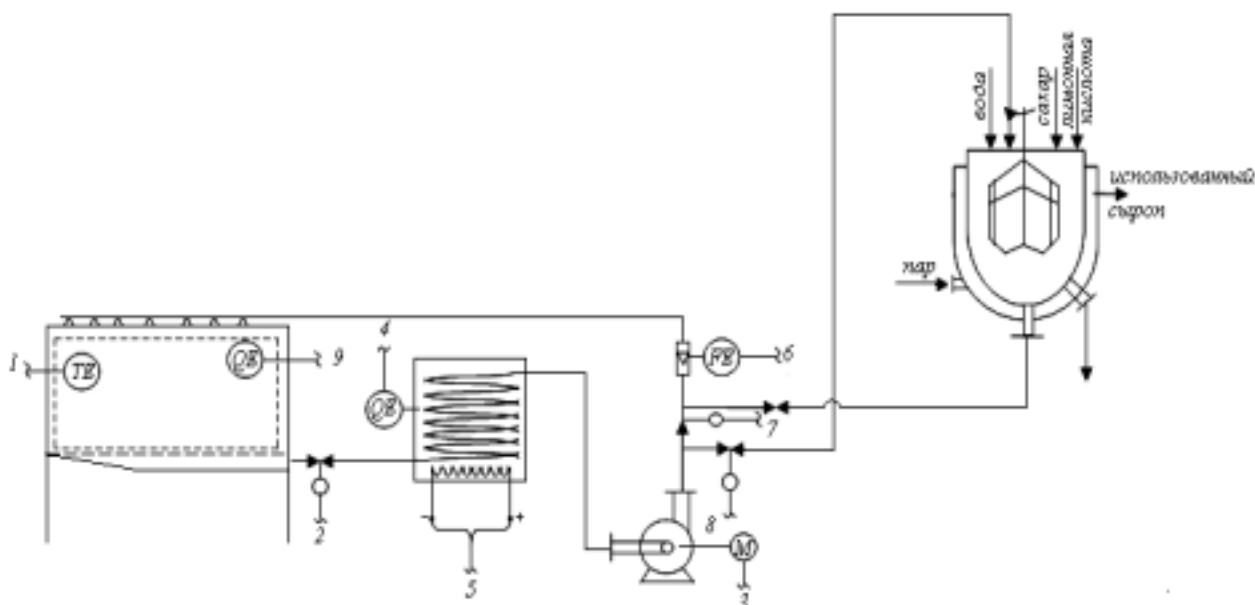


Рис.3. Установка для предварительной обработки плодов в сахарном сиропе.

Для исследования процесса сушки сельскохозяйственной продукции разработана и изготовлена сушильная установка, представленная на рис.4.



Исследование процесса сушки плодов проводилось путем измерения температуры при различных режимах и способах обработки в различных точках камеры и в слоях продукта.

С целью определения пределов варьирования факторов, влияющих на

процесс интенсификации сорбции при выдержке в сахарном сиропе, нами исследована область ограничения влияния различных факторов: плотность ИК- излучения, время ИК- воздействия на абрикос.

Анализ результатов исследования кинетики нагрева и температурных полей при непрерывном режиме ИК - облучения мякоти плодов абрикоса показал, что температура слоя на глубине 2 мм в течение 60 с при плотности лучистого потока $q=15\text{кВт/м}^2$ достигает 70°C , а в остальных слоях продукта не обеспечивается равномерное распределение температур. При увеличении плотности лучистого потока в слоях плодов наблюдается повышение температуры до 90°C и более.

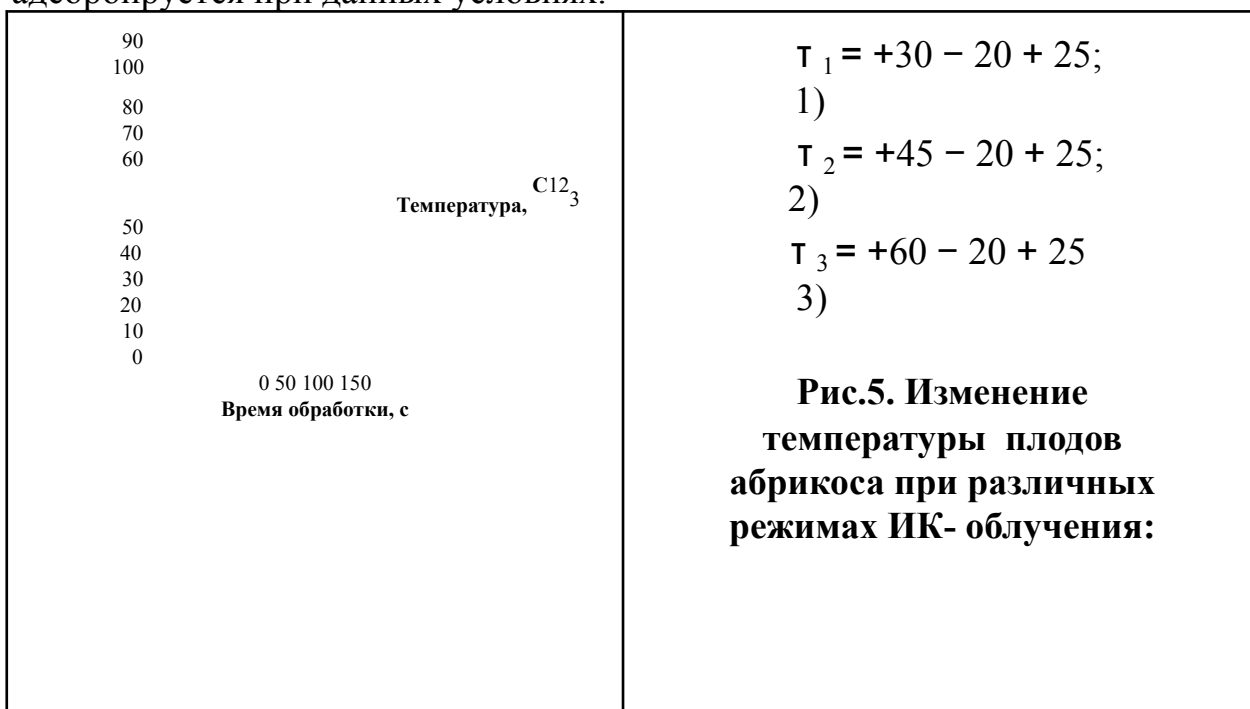
Разработана методика проведения экспериментальных исследований процесса комбинированной сушки плодов.

Второй цикл ИК-воздействия определяется так, чтобы сохранить форму сырья; при этом температура в конце процесса не должна превышать 65°C .

По результатам анализа кривых можно сделать вывод, что для предварительной обработки плодов перед сушкой наиболее рациональным являются: плотность падающего потока лучей $q=25\text{-}27\text{ кВт/м}^2$, прерывистый режим обработки:

$$(\text{ ; ; ; }) (45\ 20\ 25); 90\text{с. } T_{\text{общ}} = T_{\text{обл}} T_{\text{выд}} T_{\text{обл}} = + - + T_{\text{общ}} =$$

В процессе обработки абрикоса в сахарном сиропе протекает одновременно явление осмотической сушки. Поскольку сжимаемость жидкостей невелика, адсорбция одного компонента сопровождается вытеснением влаги из поверхностной фазы другого компонента. В результате поверхностный раствор обогащается тем компонентом, который адсорбируется при данных условиях.



Количество вещества, адсорбированного единицей массы или объема, зависит от температуры и давления фазы, из которой поглощается вещество. Теоретические представления о проникновении сиропа в капилляры мякоти абрикоса основаны на действии гидростатического давления, создаваемого поверхностным натяжением жидкости. Под воздействием последнего в капиллярах абрикоса действует гидростатическое давление до равновесного состояния с капиллярным давлением абрикоса. При выдержке в сахарном сиропе с концентрацией 70% при температуре 50⁰С гидростатическое давление в порах мякоти абрикоса составляет 615,4 - 11182 кН/м².

Количество поглощенного сахара зависит от начальной концентрации сахара в абрикосе и его влажности, температуры сиропа, продолжительности обработки и других факторов.

На основе метода планирования эксперимента «латинский квадрат» экспериментально исследован процесс поглощения сахара в мякоти абрикоса, изучено изменение концентрации сиропа после выдержки абрикоса в сиропе, определена конечная влажность абрикоса после выдержки в сиропе, выход абрикоса после сушки конвективным и ИК- конвективным методами в зависимости от начальной влажности абрикоса, концентрации и температуры сиропа, а также соотношения массы сиропа к массе абрикоса. В табл. 2. приведены средние значения экспериментальных данных в зависимости от a_c, W_H, m . Таблица 2

**Средние значения экспериментальных данных получения сахара,
изменение концентрации выхода продукции**

в зависимости от a_c, W_H, m

№	a_c	W_H	m	W_{kl}	$a'_{абр}$ $a_{абр}$	a'_c a_c	$\sigma_{абр}$ $\sigma_{абр}$
1	50	78	2,0	78,0	1,00	1,000	1,00
2	60	78	2,5	73,5	1,31	0,960	1,20
3	70	78	3,0	71,5	1,37	0,910	1,25
4	50	80	2,5	80,0	1,00	1,000	1,00
5	60	80	3,0	74,5	1,42	0,965	1,28
6	70	80	2,0	67,4	1,48	0,925	1,31
7	50	82	3,0	82,0	1,00	1,000	1,00
8	60	82	2,0	75,0	1,46	0,958	1,27

9	70	82	2,5	67,8	1,59	0,920	1,39
---	----	----	-----	------	------	-------	------

На продолжительность обработки в основном влияет температура сиропа. С превышением температуры сиропа более 50 °С снижается гидростатическое давление - за счет уменьшения коэффициента поверхностного натяжения, а также ухудшается форма высушенного

13

продукта - за счет размягчения и разрыхления пор абрикоса. На рис. 6 - рис. 8 приведены зависимости коэффициентов поглощения сахара мякотью абрикоса (рис.6.), кривая изменения концентрации сиропа (рис.7), а также кривая снижения влажности абрикоса (рис.8.) в растворе от влияющих факторов a_c , W_n и от m .

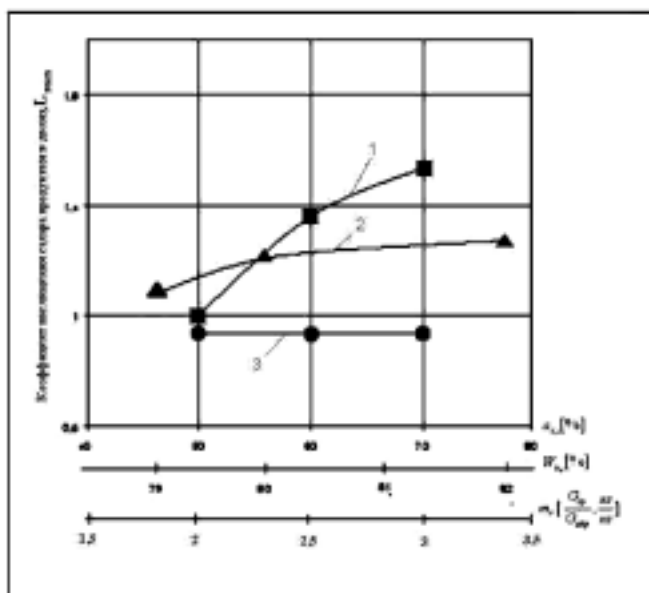


Рис. 6. Кривые изменения коэффициента поглощения сахара мякотью абрикоса в зависимости от концентрации сиропа (1), начальной влажности абрикоса (2) и от соотношения массы сахарного сиропа к массе сырья (3).

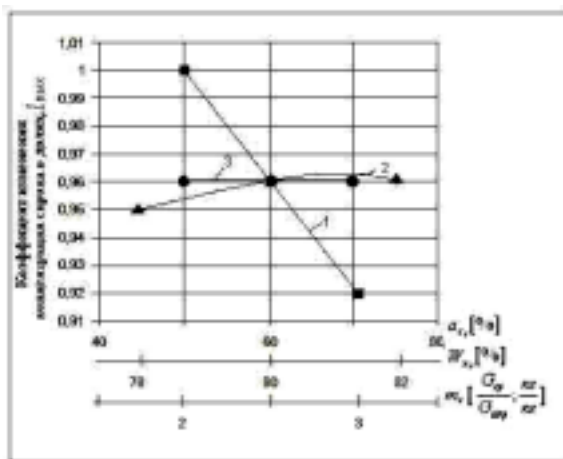


Рис. 7. Кривые изменения концентрации сиропа в зависимости от начальной концентрации сиропа (1), начальной влажности абрикоса (2) и от соотношения массы сахарного сиропа к массе сырья (3) при обработке абрикоса.

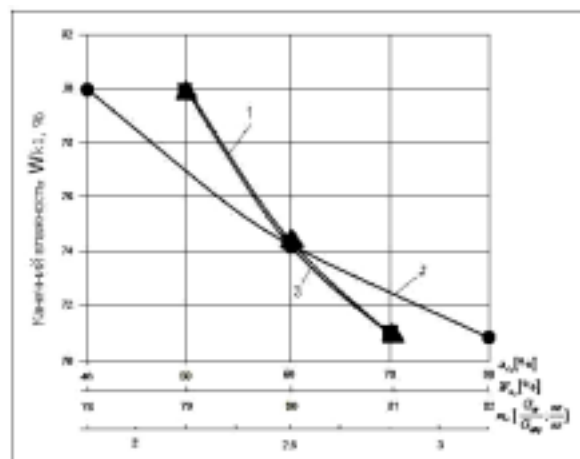


Рис. 8. Конечная влажность плодов абрикоса при обработке в сахарном сиропе в зависимости от начальной концентрации сиропа, начальной влажности абрикоса (W_n)-2 и от соотношения массы сахарного сиропа к массе сырья (m) – 3.

При обработке различных сортов мякоти абрикоса с концентрацией сахара в сиропе от 50 % до 70 % увеличивается количество поглощенных сухих веществ сахара из сиропа от 1,1 % до 1,75 % раз.

14

В результате обработки экспериментальных данных получено эмпирическое уравнение коэффициента поглощения сахара абрикосом, характеризующееся начальной влажностью абрикоса и начальной концентрацией сахарного сиропа:

$$a \quad (4)$$

1

$$[(3,28 \lg 4,44) (3U 1,09)]$$

$$\begin{aligned} & a_{\text{бр}} \\ & = \frac{1}{L_{\text{вых}} N} + \dots \\ & 2 \end{aligned}$$

По результатам исследования и обработки экспериментальных данных получена эмпирическая зависимость, описывающая изменение концентрации сиропа после обработки абрикоса:

$a \cdot (5)$

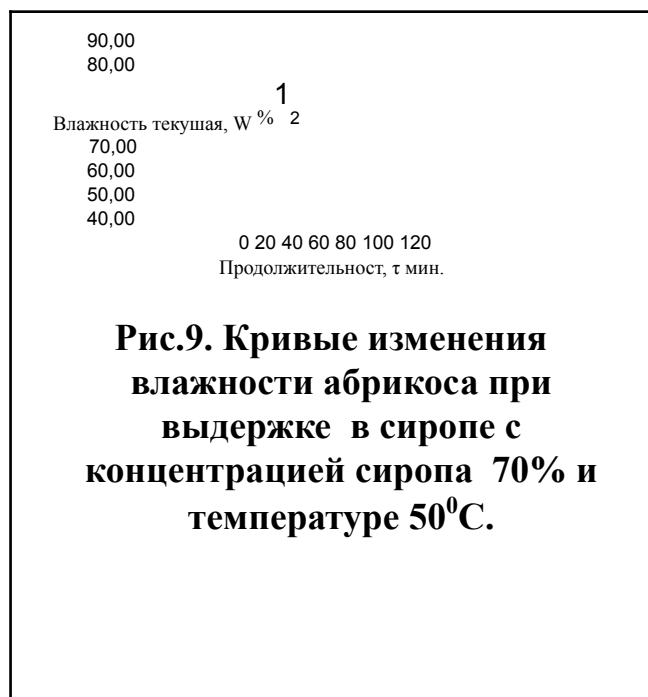
$$\left[\left(\frac{a}{a_0} \right) \right]^2 = \exp \left[- \frac{4,29 \cdot 10^4}{a} \right] \quad (5)$$

Обработка экспериментальных данных показала, что конечная влажность во многом зависит от концентрации сиропа. Изменение концентрации сиропа от 50 до 70% снижает конечную влажность абрикоса после обработки от 80 до 70%. Для определения конечной влажности получена формула в виде:

$$W_{\text{кон}} = 100 \cdot \exp \left[- \frac{4,77}{a} \right] + 0,74 \cdot \exp \left[- \frac{2,31}{a} \right] + 0,069 \cdot a + 65,2 \quad (6)$$

$$\exp \left[- \frac{4,77}{a} \right] + 0,74 \cdot \exp \left[- \frac{2,31}{a} \right] + 0,069 \cdot a + 65,2$$

На рис.9. приведены кривые изменения влажности абрикоса в зависимости от начального значения при выдержке в сахарном сиропе.



Обработка экспериментальных данных позволила получить уравнение в виде

$$\left(\frac{W}{W_0} \right)^{\kappa_1} = \exp \left[- \frac{\tau_1}{t} \right] \quad (7)$$

где, κ_1 - скорость осмотической сушки или коэффициент изменения скорости влагосодержания абрикоса % / мин.; τ_1 - период выдержки абрикоса

в сиропе, $\div 120_{\text{мин.}}$
 $T_1 = 0$

Расчеты показали, что скорость осмотической сушки абрикоса при обработке в сахарном сиропе с концентрацией 70 %, и температурой 50 °C равна $K = 0,0023$ %/мин.

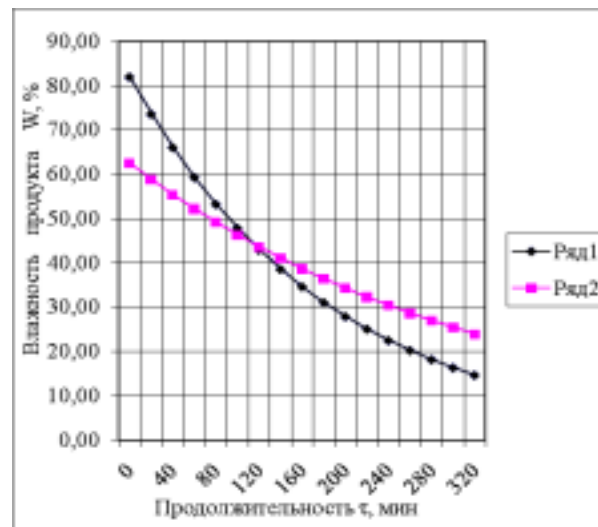
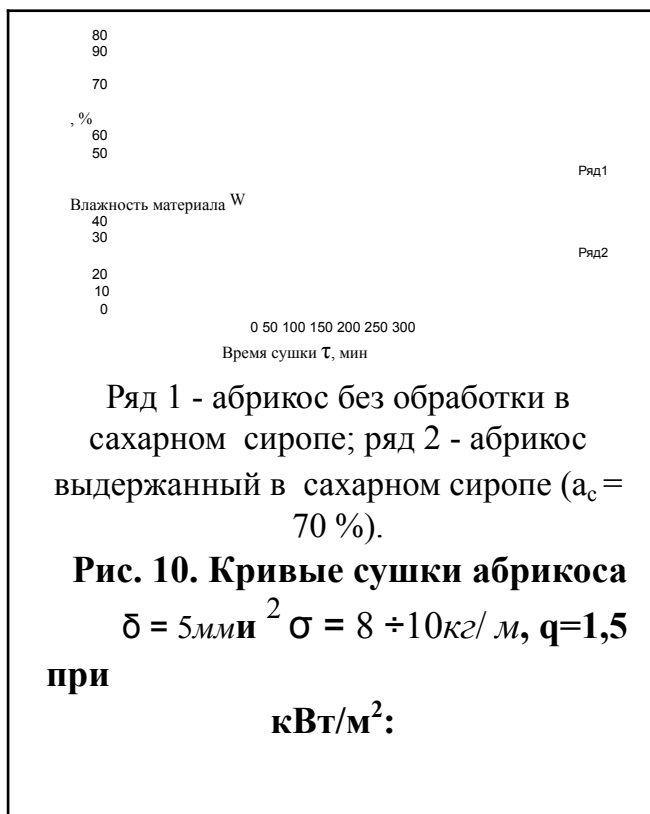
При исследовании процесса ИК- конвективной сушки абрикоса влияющими факторами на продолжительность процесса и на качество продукта являются: предварительная выдержка абрикоса в сиропе с различной концентрацией и температурой, плотность теплового потока, длина волны излучения, температура и скорость воздуха, а также нагрузка на единицу площади сушильной установки.

Процесс сушки абрикоса комбинированным методом исследован на основе методов планирования полного факторного эксперимента. В результате реализации составленного плана получены данные, представленные в виде кривых кинетики сушки на рис.10.- рис.13. Обработка результатов реализации плана полного факторного эксперимента после ИК воздействия на абрикос (при $X_3 = +1$) позволила получить зависимости коэффициента сушки от влияющих факторов a, t, w (рис.14) и уравнения для расчета средних значений коэффициента сушки в

Т:

период падающей скорости процесса K и продолжительности сушки

Анализ кривых сушки абрикоса после выдержки в сиропе показал, что в отличие от традиционного способа сушки отсутствует период постоянной скорости сушки, вызванный проникновением в капилляры сахара. В связи с этим кривые кинетики сушки начинаются с периода падающей скорости сушки.



16

Обработка результатов экспериментов следующим уравнением регрессий:

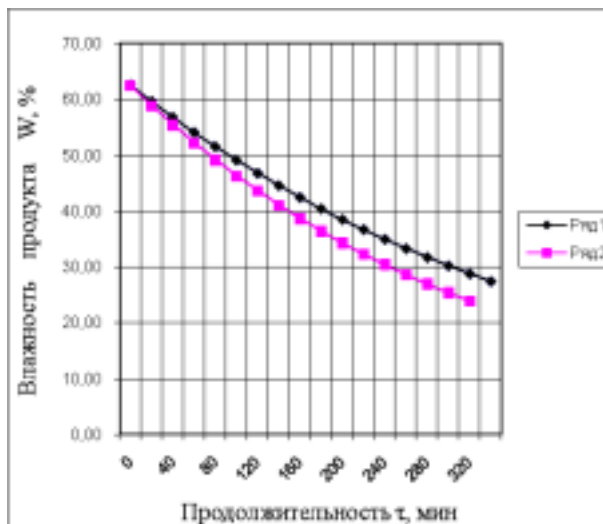
У

$$\tau = 287,5 + 16,25x_1 - 15,0x_2 + 12,5x_4 + 7,5x_1x_2 + 14,4x_1x_4 - 2,5x_1x_2x_4,$$

$$Y_k = 0,228 - 0,0516x_1 + 0,036x_2 - 0,0118x_4 - 0,0142x_1x_2 - 0,0016x_1x_4 - 0,005x_1x_2x_4.$$

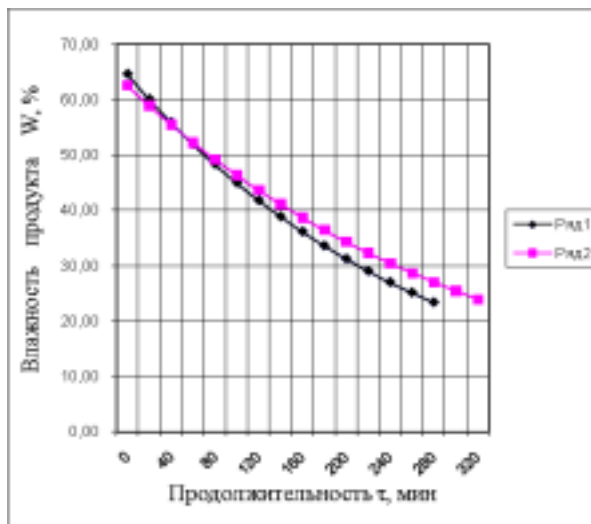
 Установлена достоверность полученных результатов эксперимента оценкой по критериям Кохрена и Фишера.

Полученные уравнения регрессии адекватно описывают процесс сушки абрикоса при комбинированном способе и позволяют рассчитать продолжительность процесса. Коэффициент сушки K при этом определяется с погрешностью 5 % в пределах изменения параметров процесса, в которых проводились исследования.



Ряд 1 - $K_1 = 0,146$, температура воздуха 40°C ; ряд 2 - $K_2 = 0,18$, температура воздуха 60°C .

Рис. 12. Кривые сушки абрикоса в зависимости от температуры воздуха t , (при $W_{к1}=62\%$, $c_a=70\%$, $V_v=2,5\text{ м/с}$).



ряд 1 - $W_n = 78\%$, $W_{к1} = 65\%$; ряд 2 - $W_n = 82\%$, $W_{к1} = 62\%$.

Рис. 13. Кривые кинетики сушки плодов абрикоса обработанных в 70 % - ном сахарном сиропе с начальной влажностью.

На рис.15 приведены экспериментальные данные о выходе готового продукта в зависимости от выдержки в сахарном сиропе различной концентрации и от начальной влажности абрикоса. Анализ показал, что при комбинированном методе сушки увеличивается выход сушеного абрикоса по сравнению с традиционными методами сушки.

Выход готовой продукции определяется как

$$G_{np} = \frac{G}{K} = \frac{a + W + m}{0,73 \lg 0,66 - 0,003 - 0,64} \quad \text{вых с Н}$$

Погрешность модели (7) составляет 5%.

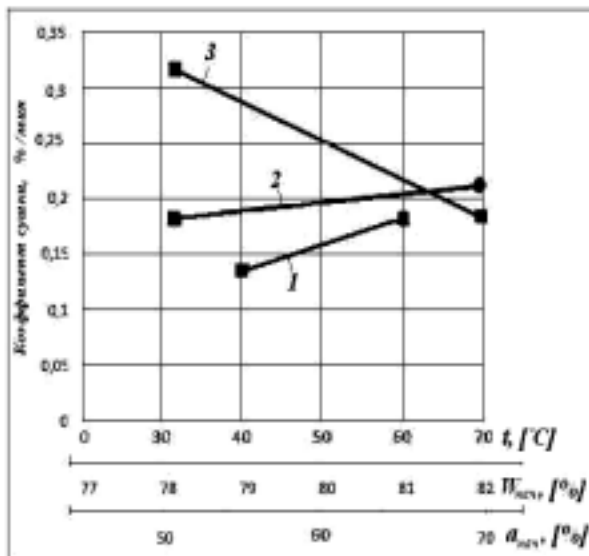


Рис.14. Кривые зависимости коэффициента сушки от влияющих факторов (a_c) , (t_b) ,



Рис.15. Коэффициент выхода готовой продукции в зависимости от , -2 и

Четвертая глава диссертации посвящена натурному исследованию комбинированной сушки плодов абрикоса. Изложены результаты испытаний и обоснована методика инженерного расчета комбинированного способа сушки. Материальный баланс при выдержке в сиропе рассчитываем, используя схему, изображенную на рис.16.

$$, G_p a_{np} L_s d_{вл},'$$

..

$$, L_s d_{вл},', G_p a_{kp}$$

$$G_{абр}$$

$$a_{н.абр} U_{н.абр}$$

,

$$G_{абр}$$

$$a_{к.абр}$$

$$U_{к.абр}$$

..

''

''

$$G_{г.пр} a_k U_{к.абр}$$

$G_{абр}, G_{абр}'$ - концентрация сахара в растворе до и после обработки сырья, кг.сах/кг.гра; G_p, G_p' - масса раствора до и после обработки абрикоса, кг.

сax aбp

$$G_{абр}$$

$$G_{абр}$$

Изменение массы и концентрации сиропоного раствора после обработки абрикоса в сахарном сиропе определяем, подставляя в (9) значения $G_{абр}$ и $n_{абр}$,

$$a_{абр} = \frac{G_{абр}}{m_{абр}} \quad \text{и уравнение (5)}$$

$$a_{вых} = \frac{G_{абр}}{m_{абр}} + \frac{G_{сах}}{m_{сах}}$$

$$a_{абр} = \frac{G_{абр}}{m_{абр}} + \frac{G_{сах}}{m_{сах}} \quad (12)$$

$$a_{абр} = \frac{G_{абр}}{m_{абр}} + \frac{G_{сах}}{m_{сах}}$$

$$U_{к}$$

или

$$a_{абр} = \frac{G_{абр}}{m_{абр}} + \frac{G_{сах}}{m_{сах}} \quad (13)$$

$$a_{абр} = \frac{G_{абр}}{m_{абр}} + \frac{G_{сах}}{m_{сах}}$$

$$- +$$

$$сах$$

Количество израсходованного сахара определяется по формуле:

$$G_{сах} = \dots \quad (14)$$

$$G_{сах} = G_{абр} \cdot a_{к абр} + G_{абр} \cdot a_{н абр}$$

Подставляя в (13) формулу (10), получим следующее уравнение:

$$\{[1 - (1)] \cdot 1\}$$

$$G_{сах} = G_{абр} \cdot a_{н абр} - U_{н} + U_{к} + a_{н} L_{вых} - L_{вых} \quad (15)$$

Количество удаленной влаги при обработке абрикоса в сахарном сиропе рассчитывается по формуле

() ()

$$U = G_{абр} W_n - W_k 100 - W_{к2} \quad (16)$$

где:

W_k определяется из формулы (6)

$$W_k = \frac{1}{W} \left[(a) (W) (m) \right]_{k c H 1} = - + - + + + . \quad (17)$$

$$\exp 4,77 \cdot 0,74 \exp 0,069 \cdot 2,3 \lg 65,2 \cdot 21,8 \lg 3$$

Рациональный режим обработки в сахарном сиропе обеспечивается при концентрации сиропа $a=70\%$ и соотношении массы сиропа к массе абрикоса $m=3$.

Выход сушеной продукции, обработанной в сахарном сиропе и ИК конвективным способом, рассчитывается по формулам:

19

$$G_{np} = G_{абр} - \frac{W_k}{100} - \frac{W_{к2}}{100} ;$$

$$\left[\left(\frac{1}{W} \right) \left(\frac{1}{G_{np}} \right) G_{абр} W_n W_k a_n L_{60\%} - W_k - W_{к2} \right] \cdot (18) = 100 - 100 - + \cdot \cdot 100 100$$

В работе сформулированы практические рекомендации по применению комбинированного способа сушки плодов и сушильных установок в консервной и овощесушильной промышленности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучены гигроскопические свойства плодов абрикоса в широком диапазоне влагосодержания и температуры окружающей среды, их структурные характеристики, определена энергия связи влаги с материалом. Установлено, что после обработки в сахарном сиропе плоды абрикосов

высушиваются до конечной влажности 25-26 %. Получены уравнения, описывающие изотермы десорбции абрикоса, обработанного ИК облучением и выдержанного в сахарном сиропе.

2. Экспериментально исследована кинетика ИК- нагрева и сушки плодов абрикоса комбинированным методом: в первый период - выдержка в сахарном сиропе для реализации осмотической сушки, второй период - ИК конвективная сушка. Установлены основные факторы, влияющие на процесс сушки плодов абрикоса при различных методах его осуществления.

3. Определены периоды воздействия импульсного ИК- излучения с максимальной длиной волн излучения $\lambda=1,1$ мкм и плотностью потока 27-30 кВт/м². Первый период воздействия составляет 40-45 с, затем следует период отлежки (15-20 с), второй период воздействия (20-25 с). При этом температура продукта не превышает 60-62⁰С.

4. Получены эмпирические формулы для расчета коэффициента поглощения сахара абрикосом, изменения концентрации сиропа - в зависимости от начального влагосодержания абрикоса и от начальной концентрации сахарного сиропа, а также от соотношения массы сиропа к сырью.

5. Установлено, что при выдержке абрикоса в сахарном сиропе процесс осмотической сушки протекает с падающей скоростью. Определен коэффициент скорости сушки при обработке в сахарном сиропе с концентрацией 70 % и температурой 50 ⁰С равный $K=0,0023$ %/мин; конечная влажность зависит от концентрации сиропа (варьируемой в пределах 60 - 70 %). Конечная влажность составляет 65 %. Получена формула для определения конечной влажности абрикоса при обработке в сахарном сиропе.

6. Сушку плодов абрикоса осуществляют воздействием ИК- лучей плотностью теплового потока $q = 2,0 - \lambda = 2,8$ 2,25 кВт/м² и длиной волн мкм, при температуре потока воздуха 60 – 65 ⁰С. Реализация плана полного факторного эксперимента позволила получить уравнение регрессии для расчета значений коэффициента сушки K в период падающей скорости и продолжительность сушки факторов (a, t, w).

T - в зависимости от влияющих

7. Разработанная методика инженерного расчета необходима для проектирования технологической линии комбинированной сушки и разработки установки различной производительности, а также в учебном процессе вузов при подготовке магистров по специальности «Машины и

аппараты пищевой промышленности».

8. Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанной технологии при переработке плодов абрикоса за сезон составит 40,6 млн сўм, (с учетом сушки других плодов до 90 тн сухофруктов за год или с производительностью технологической линии 1000 кг/сутки сухофруктов) составляет свыше 183 млн сум в год.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ:

1. Д.Н.Хикматов Исследование гигроскопических свойств абрикоса при комбинированном способе сушки // Журнал «Кимё ва кимё технологияси» – Тошкент, 2007. -№ 2. -С. 70 - 73.

2. Д.Н.Хикматов Математическая модель процесса комбинированного метода сушки абрикоса // Журнал «Кимё ва кимё технологияси» – Тошкент, 2009. -№ 3. -С . 60 - 62.

3. О.Ф.Сафаров, Д.Н.Хикматов ва бошқалар Мева – сабзавот куқунларини олиш усули // Ихтирога патент № IAP 03320 рақамли. 15.03.2007 йил рўйхатга олинган.

4. О.Ф.Сафаров, Д.Н.Хикматов ва бошқалар Қуритилган мева олиш усули // Ихтирога патент № IAP 03373 рақамли. 30.05.2007 йил рўйхатга олинган.

5. Х.Ф. Жўраев, Д.Ш. Базарбаева, Д.Н.Хикматов Системный анализ процесса переработки плодов // Теоретический журнал «Хранение и переработка сельхозсырья» – Москва, 2001. -№ 9. -С. 60 - 61.

6. Х.Ф. Жўраев, И.И. Мехмонов, Д.Н.Хикматов ИК- конвективная сушка сельхозпродуктов // Теоретический журнал «Хранение и переработка сельхозсырья» – Москва, 2001. -№ 7. -С. 20 - 22.

7. Д.Н.Хикматов, Х.Ф. Жўраев Температурани қуришти жарғёнига таъсири // Международная научно-практическая конференция «Проблемы интенсификации технологических процессов и энергосберегающих технологий в условиях национальной экономики» - Бухара, 2003. -С. 139 - 140.

8. О.Ф.Сафаров, Д.Н.Хикматов Исследование гигроскопических свойств абрикоса // V- Международная научно – техническая конференция «Техника и технология пищевых производств» тезисы докладов. –Могилев, 2005. -С. 226.

9. Д.Н.Хикматов, Р.Р.Ибрагимов Мева ва сабзавотларни қуришти жарғёнини тадқиқ қилиш // Халқаро илмий – Амалий анжуман туплами. «Фан ва ишлаб чиқариш интеграциясини жадаллаштириш муаммолари» - Бухоро, 2006. – 501 - 502 б.

10. Д.Н.Хикматов, Ф.Ю.Ҳабибов, О.Ф.Сафаров Исследование влияния факторов на процесс обработки абрикоса в сахарном растворе // Юбилейная

международная научно-практическая конференция «Пищевая и легкая промышленность в стратегии вхождения Республики Казахстан в число 50-ти наиболее конкурентоспособных стран мира» - Алматы, 2007. -С. 99-101.

11. Д.Н.Хикматов, О.Ф.Сафаров, М.Ф.Раджабов Комбинированный метод сушки абрикоса // Фан ва ишлаб чикариш интеграциясини жадаллаштириш муаммолари “Республика илмий амалий анжумани” - Бухоро, 2007. – 149 - 151 б.

12. И.И. Мехмонов, Д.Н.Хикматов Ўрик мевасининг хусусиятлари ва уни қайта ишлаш жараёни таҳлили // Фан ва ишлаб чикариш интеграциясини жадаллаштириш муаммолари “Республика илмий амалий анжумани” - Бухоро, 2007. – 165 - 167 б.

13. Д.Н.Хикматов, О.Ф.Сафаров Исследование выхода готовой продукции при комбинированном методе сушки // VII - Международная научно – техническая конференция «Техника и технология пищевых производств», Тезисы докладов. – г. Могилев, 2009. –С -78.

Техника фанлари номзоди илмий даражасига талабгор Ҳикматов
Дониёр Нематовичнинг 05.18.12 – “Озиқ – овқат саноати жараёнлари ва
аппаратлари” ихтисослиги бўйича “Ўрикни аралаш усулда қуритиш
жараёнини такоминлаштириш” мавзусидаги диссертациясининг **Р Е З**
Ю М Е С И

Таянч сўзлар: ўрик, осматик қуритиш, гигроскапиклиги, энергетик
боғлиқлиги, ғоваклиги, адсорбция, ИҚ – конвектив қуритгич, шакарли
эритма, энергия тежамкор.

Тадқиқот объектлари: Тадқиқотларнинг объекти бўлиб ҳар хил
физик-механик хоссаларга эга бўлган ўрик меваси хизмат қилади. **Ишнинг**
мақсади: Диссертация тадқиқотларининг мақсади – янги физик ишлов
бериш усуллари кўллаган ҳолда ўрик мисолида комбинацияланган
қуритиш усулини, ҳамда ўта самарадорли, энергиятежамкор қурилма ва

ускуналарни ишлаб чиқиш.

Тадқиқот усуллари: Диссертация ишидаги илмий тадқиқотлар температурани, намликни, исслик ташувчиларнинг сарфини, хом-ашё ва тайёр маҳсулотнинг таркиби ва массасини ўлчайдиган анъанавий усуллар ишлатган ҳолда бажарилган. Комбинацион қуритиш жараёни экспериментларини ўтказиш ва натижаларини таҳлил қилиш экспериментларни режалашга асосланган.

Олинган натижалар ва уларнинг янгиликлари: Илмий ишда системали таҳлил асосида меваларни аралаш усулда ишлов бериш мақсадга мувофиқлиги асосланган, ўрик мевасига инфрақизил нурлар таъсирида импульсли ҳамда шакарли эритмада ишлов бергандан сўнг иссиқликмоддаалмашилиш характеристикаларининг ўзгариш қонуниятлари аниқланган (гигроскопик, ғовакликлари ва намликни боғланиш энергияси). Аралаш қуритишни амалга ошириш услуби ишлаб чиқилган. Аналитик тажриба усулини қўллаб, тадқиқ қилинаётган жараёнлар учун математик модел олинган. Шакарли эритмада адсорбция ва осматик қуритиш жараёнининг кинетики тажриба усулида олинган. Ўрик мевасини осматик, шакарли эритмада адсорбциялаш ва ИК- конвектив қуритиш жараёнига таъсир қилувчи омилларнинг рационал қийматлари аниқланган.

Ўрик мевасини инфрақизил импульсли ишлов бериш, шакарли эритмада адсорбциялаш ва ИК- конвектив қуритиш жараёнлари асосланган. **Амалий аҳамияти:** Ўрик мевасига дастлаб шакарли эритмада ишлов бериб, ИК- конвектив қуритиш жараёнининг технологик режимини танлаш илмий асосланган ва аралаш усулида қуритишнинг муҳандислик ҳисоблаш методи ишлаб чиқилган.

Таёр маҳсулотнинг чиқиши 1,4 марта ошади.

Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: Бир мавсумда 90 т куруқ мева оладиган технологик тизим ёки иш унумдорлиги 1000 кг/сутка бўлган технологик тизимда ишлаб чиқилган технологияни қўллашдан кутилаётган иқтисодий самара урик маҳсулоти учун 40,6 мил сумни, бошқа мевалар билан бирга 183 млн. сўмни ташкил этади.

Қўлланилиш соҳаси: консервалаш саноати

диссертации Хикматова Дониёра Нематовича на тему: «Совершенствование процесса комбинированной сушки абрикоса» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств»

Ключевые слова: абрикос, осмотическая сушка, гигроскопичность, пористость, адсорбция, ИК- конвективная сушка, сахарный сироп,

энергосбережение.

Объект исследования: процесс комбинированной сушки плода абрикоса.

Цель работы: Цель исследования состоит в разработке комбинированного сушки плодов абрикоса с использованием новых физических способов воздействия и создании высокоэффективных энергосберегающих установок и аппаратов.

Методы исследования. Исследования по диссертационной работе проведены с применением традиционных методов измерения температуры, влажности и расхода теплоносителей, состава и массы сырья и готовой продукции. Обработка результатов экспериментов по комбинированной сушке основывается на методе планирования экспериментов.

Полученные результаты и их новизна. В работе на основе системного анализа обоснована целесообразность обработки плодов комбинированным методом, выявлены закономерности тепло массообменных характеристик плодов абрикоса (гигроскопические, распределение пор и энергия связи влаги с материалом) после обработки их ИК импульсным воздействием и в сахарном сиропе. Разработана методология проведения процесса комбинированной сушки. Аналитико экспериментальными приемами получена математическая модель исследуемых процессов. Экспериментально изучена кинетика процесса осмотической сушки и адсорбции в сахарном сиропе. Выявлены рациональные значения факторов, влияющих на процесс осмотической сушки и адсорбции в сахарном сиропе, а также ИК- конвективной сушки плодов абрикоса.

Практическая значимость. Осуществлен научно обоснованный выбор технологических режимов ИК- конвективной сушки абрикоса с предварительной обработкой последнего в сахарном сиропе и разработана методика инженерного расчета комбинированной сушильной установки. Увеличен выход готовой продукции в 1,4 раза.

Степень внедрения и экономическая эффективность. Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанной технологии при переработке плодов абрикоса за сезон составит 40,6 млн сўм, (с учетом сушки других плодов до 90 тн сухофруктов за год или с производительностью технологической линии 1000 кг/сутки сухофруктов) составляет свыше 183 млн сум в год.

Область применения. Консервная промышленность.

Key words: apricot, osmotic drying, hygroscopicity, porosity, adsorption, IR-convective drying, sugar syrup, energy saving.

Subjects of the research: process of multifunctional method of the apricot fruit drying.

Purpose of work: The purpose of work consists in working out combined drying of apricot fruits with usage of new physical ways of influence and creation highly effective energy saving installations and devices.

Methods of research: Researches on dissertational work are spent with application of traditional methods of measurement of temperature, humidity and the expense of heat-carriers, structure and weights of raw materials and finished goods. Processing of results of experiments on the combined drying is based on a method of planning of experiments

Received results and their novelty. In work on the basis of the system analysis the expediency of processing of fruits is proved by the combined method, laws of mass-heat exchange characteristics of apricot fruits (hygroscopic, distribution of a time and energy communication of a moisture with a material) after their processing by IR-pulse influence and in sugar syrup are revealed. The methodology of carrying out of process of the combined drying is developed. Analytical-experimental receptions receive mathematical model of investigated processes. It is experimentally studied kinetics of process of osmotic drying and adsorption in a sugar syrup. Rational values of the factors influencing process of osmotic drying and adsorption in a sugar syrup, and also IR - convective drying of fruits of an apricot are revealed.

Practical value. The scientific motivation of the choice of the apricot IR convective drying technological mode with preprocessing the last in sugar syrup and development of the methods of the engineering calculation of the multifunction method of the drying.

Increase of product output is more than 1,4 times.

Degree of embed and economic effectivity: Expected economic benefit of introduction of the developed technology at processing of apricot fruits for a season will make 40,6 million sum, (taking into account drying of other fruits to 90 ton dried fruits for a year or with productivity of a technological line of dried fruits of 1000 kg/days) makes over 183 million sum in a year.

Field of application: Tin industry.