

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО - ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК 664.66.085.1

ДОДАЕВ КУЧКОР ОДИЛОВИЧ

РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ  
ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ  
ПЕРЕРАБОТКИ ТОМАТОВ

Специальность 05.18.12. - "Процессы, машины и агрегаты пищевой  
промышленности"

А в т о р е ф е р а т диссертации на соискание ученой  
степени доктора технических наук

Ташкент - 2006

Работа выполнена на кафедрах «Информатика, автоматизация и управление»  
и «Технология консервированных пищевых продуктов»  
Ташкентского химико-технологического института

Официальные оппоненты

Академик АН РУз, доктор  
технических наук, профессор  
Салимов З.С.

доктор технических наук,  
профессор Мухамедов Б.И.

доктор технических наук,  
профессор Нуритдинов Ш.Н.

Ведущая организация

компание «Узвинпром - холдинг»

Защита диссертации состоится \_\_\_\_\_ 1 июля  
2006 г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании специализированного совета  
Д 067.24.03 Ташкентского химико-технологического института 700011,  
Ташкент, ул. Наваи, 32, ауд. \_\_\_\_\_

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке  
Ташкентского химико-технологического института, г. Ташкент, ул. Наваи, 32.

Автореферат разослан " 1 " \_\_\_\_\_ июня \_\_\_\_\_ 2006 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
доктор технических наук, профессор

Кадиров Ю.К.

### **Общая характеристика диссертации**

**Актуальность.** На современном этапе развития народного хозяйства Республики Узбекистан особое внимание уделяется созданию прогрессивных технологий переработки сырья, основу которого составляет изучение и разработка процессов и аппаратов, предназначенных для безотходной переработки сельскохозяйственных продуктов в промышленности и агропромышленных комплексах. Особая роль при этом отводится к консервной промышленности, уровень развития и оснащенность которой не отвечает пока требованиям мировых стандартов.

Томатопродукты являются неотъемлемой частью пищевого рациона человека. По Узбекистану только на государственных предприятиях ежегодно перерабатывается более 500 тыс. тонн томатов, основная часть которого предназначена для экспорта.

Сохранение исходных свойств сельхозсырья, биологически ценных компонентов является глобальной проблемой пищевой технологии. Важное значение имеет использование отходов, в частности, подготовка семян томатов для дальнейшей промышленной переработки и получения из них фармакопейного масла, пищевого белка и кормового продукта.

**Степень изученности проблемы.** Перечисленные проблемы разрешимы на основе исследований с применением современной методологии - системного анализа. Эти исследования предусматривают развитие теоретических основ тепломассообменных (ТМО) процессов производства продуктов переработки сельхозсырья, замену тепловых процессов гидромеханическими, уменьшение градиента температуры за счет применения электрофизических методов обработки, сокращение времени пребывания продукта в зоне высокой температуры, а также интенсификацию процессов тепломассообмена, использования водных сред, активированных электрохимическими методами.

**Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР.** Работа направлена на решение проблемы, относящейся к пищевой промышленности и связанной с координационным планом научно-исследовательских работ Ташкентского химико-технологического института в период с 1997 по 2005 годы (№ государственной регистрации 0197.0006247).

**Цель исследования.** Развитие научных основ интенсификации основных процессов переработки томатов, путем математического моделирования и оптимизации процессов, создание высокоэффективной технологии и аппаратуры.

**Задачи исследования:**

- разработка теоретических основ тепломассообменных (ТМО) процессов комплексной переработки томатов;
- научное обоснование и выбор наиболее эффективных методов анализа и синтеза технологических процессов освобождения мякоти томатов от семян и кожицы, концентрирования пульпы, дезинфекции сырья и тары, стерилизации готовых консервов, сушки семян;
- формализация методологических основ анализа и синтеза ТМО

процессов комплексной переработки томатов;

- математическое моделирование и компьютерное исследование рассматриваемых процессов;

- аппаратное оформление предложенных процессов;

- экспериментальное исследование процессов разделения кожицы томатов путем их ИК-обработки, разделения твердых нерастворимых компонентов томатной пульпы в поле центробежных сил, исследование физико-технических свойств фугата, выпариваемости фугата, томатных семян;

- многоуровневая оптимизация работы технологических установок, предложенных для осуществления комплексной переработки томатов;

- промышленные испытания разработанных аппаратов и установок.

**Новизна работы** заключается в следующем:

- выдвинута концептуальная стратегия обеспечения условий сокращения сопротивлений интенсивному удалению влаги с поверхности жидкостной неоднородной или сыпучей системы, а также условий проникновения тепла вглубь продукта;

- сформулированы принципы условий интенсификации процессов концентрирования пищевых растворов, распределения температуры во времени по геометрическим координатам в дискретно-изолированных изделиях, размещенных среди источника тепла;

- изучены условия десорбции влаги из сыпучего материала в условиях совместного с рабочим агентом транспорта в пневмотрубе с дополнительным подводом энергии, при переработке сельскохозяйственной продукции, с использованием теории и методов построения математических аппаратов ТМО процессов на основе структурно-системного анализа процессов на различных уровнях иерархии;

- получены теоретические результаты, способствующие развитию науки о процессах и аппаратах пищевой технологии, пригодные при исследовании аналогичных процессов в других технологиях;

- разработаны и подготовлены экспериментальные, методически обоснованные установки для получения математических описаний исследуемых процессов и установления их адекватности реальным процессам;

- предложены: ИК-обработка томатов целых взамен подогрева дробленной массы в трубчатых аппаратах, система центрифугирование-выпаривание (Ц-В) для концентрирования, сушка семян в обогреваемой ИК-лучами пневмоустановке, способы стерилизации тары и готовой продукции;

- предложены математические модели процессов концентрирования осветленного сока, осуществляемые по схеме Ц-В, отражающие количественную и качественную сущность разделения в поле центробежных сил и выпаривания фугата; процессов стерилизации расфасованных изделий; процесса сушки томатных семян в пневмотрубе. Причём предложена математическая модель, где расчёт испаренной влаги ведётся по изменению парциального давления паров воды и коэффициента влагосодержания воздуха в рабочей среде; предложена также система трансцендентных уравнений баланса с итерационным алгоритмом и последующим предложением принципа синтеза

процедур решения обратных задач, основанных на использовании искусственных нейронно-сетевых моделей;

- экспериментально найден оптимальный режим ИК-обработки томатов для их освобождения от кожицы, исследованы процессы центрифугирования томатной пульпы и выпаривания фугата в зависимости от входных параметров, таких как начальные концентрации сухих водорастворимых (Р), не растворимых (НР) компонентов, их соотношение, значение вакуума в аппарате, заданной концентрации томат-пасты и т.д.; получен профиль температуры по времени для заданной температуры стерилизации в периодических автоклавах; исследовано влияние температуры рабочего агента, начальной влаги, соотношения расходов томатных семян и воздуха, плотности теплового потока, на протекание процесса сушки томатных семян. Путем получения статистической математической модели определены оптимальные значения факторов, влияющих на процесс сушки томатных семян;

- получена номограмма для концентрирования пищевых растворов в технологической системе Ц-В, разработана методика двухуровневой оптимизации процесса сушки сыпучего материала.

**Научная и практическая значимость результатов исследования** диссертационной работы заключается в следующем:

- универсальность программного обеспечения полученных аналитико-экспериментальных моделей, пригодность к применению в практической деятельности при исследовании аналогичных ТМО процессов;

- выявлены оптимальные параметры при переработке томатов в предлагаемой линии;

- установка для комбинированной сушки семян включена в технологическую линию переработки томатов, использовано кратковременное электрофизическое воздействие, обоснован выбор рациональных режимных параметров процесса;

- разработана методика расчета гидромеханического процесса – разделения пульпы в поле центробежных сил, выпаривания фугата в двухкорпусном аппарате, ТМО процессов сушки томатных семян, исследованы режимы эксплуатации эффективных установок;

- разработаны алгоритмы и программы расчетов гидромеханического и ТМО процессов. Использована программа MATLAB для осуществления принципа синтеза процедур решения обратных задач, основанный на использовании искусственных нейронно-сетевых задач.

**Реализация результатов.** Разработанная схема установки фракционированной переработки томатной пульпы, сушка томатных семян, использование активированной воды при стерилизации тары и оборудования прошли производственные испытания в цехе переработки сельхозпродуктов колхоза «Ташкент» (Ташкентская область). Технологическая система центрифугирование-выпаривание для производства концентрированного томатного сока внедрена на Газалкентском консервном заводе. Технологическая схема сушки томатных и других семян внедрена на

производственной базе Узбекско-Турецкого торгово-производственного СП «Эл Кол» в г. Янгиюле. Экономический эффект накапливается за счет:

- снижения потерь при выпаривании и увеличения концентрации конечного томатопродукта;
- уменьшения затрат энергии на единицу готовой продукции;
- повышения пищевой ценности готовой продукции в результате снижения воздействия высокой температуры, сохранения биологически ценных компонентов: витаминов, микроэлементов и т. д.;
- превращения в промышленное сырьё томатных семян;
- упрощения конструкции оборудования и управляемости линии.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили одобрения на: международных конференциях: Ташкент – 1993; 1994; Москва – 1994; Минск-1996; Бухара-1995, Владимир – 1998; республиканских Бухара – 1993; Ташкент-1995; Чирчик-1995; Шахрисабз-1996, форумах, симпозиумах а также ежегодных научно-теоретических конференциях ТХТИ (Ташкент 1993-2006 гг).

**Опубликованность результатов.** По теме диссертации опубликовано 62 работы, в том числе 2 монографии, 1 учебное пособие и 19 статей в периодических журналах Республики Узбекистан и в России, 38 тезисов докладов на конференциях различного уровня, получены 2 патента РУз.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, списка использованной литературы из 326 наименований и приложений. Работа изложена на 374 страницах машинописного текста (в том числе 27 приложений на 95 стр.), содержит 33 рисунка и 9 таблиц.

### **Содержание диссертации. Современное состояние проблемы**

Литературный анализ современного состояния процессов переработки томатов показывает, что происходит резкое изменение свойств исходного сырья, потери витаминов, химического превращения микроэлементов, аминокислот и др. полезных компонентов томатов за счёт теплообменных процессов, вызывающих множество биохимических процессов, реакции меланоидинообразования и карамелизации. Пропадают семена.

С позиции системного анализа выполнен критический анализ процессов подготовки томатов к разделению кожицы, вакуумного выпаривания томатной пульпы, тепловой стерилизации готовой продукции и тары, а также сушки семян – сырья для промышленной переработки. Анализировано аппаратное оформление рассматриваемых процессов.

### **Системный анализ**

В работе осуществлён системный анализ ТМО процессов, протекающих на существующих линиях переработки томатов. В качестве объекта дальнейшего исследования выделены процессы отделения мякоти томатов от кожицы, осуществляемые путём подогрева дроблённой томатной массы в

трубчатых подогревателях, выпаривания томатной пульпы в многокорпусных аппаратах, стерилизации тары и расфасованной готовой продукции, сушки томатных семян. По выделенным шести ступеням иерархии осуществлён смысловой анализ явлений и процессов, протекающих в живых клетках томатов, биофизических и биохимических процессов, протекающих как естественно, так в результате воздействия температуры и кислотности среды на ферментную систему, имеющуюся в овощах. Предложены научно-обоснованные пути введения коррективы в применении высокой температуры, неблагоприятно влияющей на качество конечного продукта. Найдены уровни иерархии, где рациональнее осуществить управление биофизическими процессами.

На первом, атомарно-молекулярном уровне анализируются изменения энтальпий элементов, фазовые превращения простых веществ за счет изменения внутренней энергии вещества.

На втором уровне рассматриваются явления, относящиеся к белковым аминокислотам, каротину, витаминам, металлам, золе, макромолекулам органических веществ, то есть пектиновой группе, ферментам и т.д. Они вызывают биохимические реакции, фазовые превращения, превращение протопектина в пектин, для чего поглощается тепло, подаваемое извне.

На третьем уровне рассматриваются изменения, которые претерпевает живая клетка томатов: разрушение ее стенок, кинетика ТМО процессов, биохимические превращения, уничтожение микроорганизмов, плесеней, дрожжей. На этом уровне можно изучить воздействие того или иного вида энергии на жизнедеятельность микроорганизмов, подлежащих уничтожению на стадии стерилизации или пастеризации конечных продуктов.

На четвертом уровне рассматривается частица мякоти и локальный объем аппарата, ТМО и биохимические процессы, протекающие в них.

На пятом уровне рассматриваются явления и процессы, протекающие в фазах продукта. При тепловых процессах, к которым подвергается томатная масса на различных стадиях технологического процесса существует томатная масса – жидкая фаза, парогазовая фаза – смесь паров воды и воздуха.

На шестом уровне рассматриваются процессы, протекающие в объеме аппарата в целом.

Структурными элементами являются протоны, электроны, молекулы и группы молекул, аминокислоты, глюкоза, простые липиды, витамины, белки, системы мембран, сложные липиды, целлюлоза при сопровождении инкрустирующих веществ, таких как гемицеллюлозы, пектины, легнин, цитоплазма и содержащиеся в них основные органоиды: митохондрии, хлоропласты, пластиды, рибосомы, ядро, ядрышко, вакуолы с их системой мембран, элементарные частицы на уровне локального объема, фаза и объем аппарата.

Методология системного анализа даёт возможность правильного выбора метода воздействия, выбора энергоподвода, позволяющего частично селективировать биохимические процессы на предусмотренные технологическим процессом и подлежащие ликвидации. Очевидно, что практически невозможно

полностью ликвидировать одни явления и процессы, обеспечивая осуществление других.

Математические модели подсистем включают математические описания ТМО процессов в частицах, тепловые и материальные балансы и уравнения равновесия систем. Полная математическая модель ТМО процессов в масштабе аппарата состоит из математических моделей процессов в функциональных конструктивных элементах аппарата и включает уравнения материального и теплового балансов, уравнения распределения температуры и влаги по сечению аппарата, уравнения гидродинамической обстановки и молекулярной диффузии влаги внутри семени.

Разработанные программные средства и пакет прикладных программ можно использовать при решении задач статической и динамической оптимизации технологических систем при синтезе их САУ. Результаты исследований и банкпрограммы представляют интерес для создания САПР высокоэффективных аппаратов и установок.

На стадии получения пульпы подогрев всей дробленой массы до температуры  $70^{\circ}\text{C}$ , предназначенный для превращения подкожного протопектина в водорастворимый пектин, тем самым, сокращения потерь мякоти с отходами, заменён обработкой электромагнитным полем ИК-диапазона. Это позволяет обработать локальный объём томатов, тем самым увеличить удельную производительность аппарата, сократить расход энергии, сохранить биохимический состав мякоти.

Предложено предварительное разделение сухих НР веществ томатной пульпы в поле центробежных сил для доведения до минимума температуры кипения томатной пульпы, прилипания к стенкам аппарата и получения более высокой концентрации томат-пасты.

Моделирование и оптимизация процесса тепловой стерилизации заключается в получении дифференциальных значений температуры по геометрическим координатам тары во времени, где уточняются режимные параметры: времена разогрева, выдержки и охлаждения изделий. Для стерилизации при низких температурах можно использовать способ обработки электромагнитными полями ИК – диапазона, разработанный учеными лаборатории N1 института материаловедения Научно-производственного объединения «Физика солнца» АН РУз.

Активированные воды можно применить для мойки и стерилизации тары, крышек, оборудования; временной поддержки заданной кислотности томатной среды, а также для создания состояния анабиоза в продуктах, при котором кислотность среды, препятствует развитию микроорганизмов в консервированных продуктах, приводящих их к порче.

Задача выбора принципа устройства установки и оптимального аппаратного оформления процесса сушки томатных семян решена на основе методологии системного анализа.



## Система центрифугирование-выпаривание

Извлечение из пульпы НР компонента в виде густой массы в поле центробежных сил позволяет концентрировать осветленный сок в тех же вакуум-выпарных установках в более мягком режиме до более высоких концентраций без потерь и дополнительных затрат.

Разделение в поле центробежных сил основано на использовании разности давлений - движущей силы процесса  $\Delta P$ , возникающего благодаря разности плотностей компонентов разделяемой суспензии или эмульсии. Содержание сухих веществ в плодах томатов колеблется от 4 до 9%, составляя в среднем 6%. Часть сухих веществ приходится на долю кожуры и семян, которые выделяются при получении пульпы. Томатная пульпа является суспензией, в которой дисперсионный компонент-вода с растворенными в ней Р веществами, дисперсный компонент - частицы мякоти с НР веществами. Плотность взвешенных частиц заметно больше по сравнению с плотностью дисперсионного компонента. Частота вращения барабана подбирается путем совместного решения задачи оптимизации энергозатрат, где фигурируют мощность электродвигателя и концентрация целевого продукта.

Фугат - двухкомпонентный раствор – вода и Р вещества – подвергается концентрированию в МВУ. Основные закономерности процесса концентрирования аналогичных растворов выпариванием изучены Коноваловым Д.П. и Вревским М.С.

При выпаривании по мере повышения концентрации Р веществ за счет температурной депрессии возрастает температура кипения раствора. Отметим, что растворам компонентов томатов присуще нелинейное изменение температурной депрессии. Процесс концентрирования томатной пульпы ограничивается пределом концентрации (с учетом целесообразности энергозатрат до 35%), соответствующей предельно допустимой температуре кипения обрабатываемого раствора при заданной величине общего давления в аппарате. При этом дальнейшее удаление воды из раствора без изменения его температуры не представляется возможным. Следовательно, поскольку II и последующие корпуса МВУ работают на вторичном пару передистоящего корпуса, остается пропорциональное изменению температуры кипения раствора углубление вакуума. Но и этот путь эффективен в ограниченных пределах, его предел давно исчерпан в существующих установках. Одним из путей уменьшения температуры кипения является максимально возможное удаление НР веществ, для чего используется гидромеханический процесс-центрифугирование.

Таким образом создана система Ц-В, включающая центрифугу и МВУ. Работоспособность системы анализируется математическим моделированием, выявлением оптимальных режимных параметров и целенаправленно оформляются конструктивные элементы.

В данном разделе рассмотрены вопросы математического моделирования основных процессов: центрифугирования и выпаривания и их совместное компьютерное исследование.

Механический способ разделения основан на осаждении НР компонентов томатной пульпы в поле центробежных сил. Для обеспечения выхода осветленного фугата исследуется материальный баланс процесса, с целью получения выражения для каждого из компонентов во входе в центрифугу, выходящей густой массе и фугате, а также исследуется мощность, затрачиваемая на центрифугирование в денежном выражении.

Для составления материального баланса процесса центрифугирования томатной пульпы введены следующие обозначения относительных безразмерных величин:  $a_{в1}$  - концентрация воды в поступающей на центрифугирование пульпе;  $a_{тн1}$ ,  $a_{тр1}$  - соответственно, доли твердого НР и Р компонентов в поступающей пульпе;  $a_{тр1в}$ ,  $a_{тр2в}$ ,  $a_{тр3в}$  - соответственно, концентрация твердого Р компонента относительно воды в поступающей на центрифугу пульпе, густой массе и фугате,  $a_{в2}$ ,  $a_{тн2}$ ,  $a_{тр2}$  - соответственно, доли влаги, НР и Р компонентов в конечном продукте;  $a_{в3}$ ,  $a_{тр3}$  - соответственно доли воды и Р компонентов в фугате; а также  $G_1$ ,  $G_{в2}$ ,  $G_{тн1}$ ,  $G_{тр1}$  - соответственно, производительность центрифуги, по воде, НР и Р компонентам пульпы, [г/с];  $G_{тм}$ ,  $G_3$  - соответственно, производительности по густой массе заданной концентрации и по фугату, [г/с].

Система уравнений (24) представляет собой математическую модель процесса центрифугирования. Уравнения (1-19) характеризуют величины безразмерной концентрации и соответствующих расходов компонентов томатов при центрифугировании; (20-21) мощность электродвигателя центрифуги и годовую потребность в электроэнергии; (22-23) амортизационные отчисления на капитальные вложения и затраты на единицу продукции. Исследования изменений расходов и концентраций при варьировании концентрации исходной пульпы от 3 до 8% и соотношения Р/НР от 2 до 6 с применением современной компьютерной техники показывают:

1. Центрифугированием можно полностью извлечь твердый НР компонент пульпы, для любого режима, построив профиль изменения затрачиваемой мощности от концентрации (рис.1).

2. Выход 30%-ной густой массы не зависит от соотношения Р/НР, а ее количество при выпаривании концентрации сухих веществ в пульпе от 3 до 8% изменяется по линейному закону (рис.2).

3. Концентрация сухих веществ в густой массе, получаемой центрифугированием в зависимости от общего количества сухих веществ пульпы изменяется по линейному закону (рис.3).

4. При изменении общего количества сухих веществ в пульпе от 3 до 8% количество получаемой центрифугированием 30%-ной густой массы увеличивается до 2,67 раза.

С увеличением количества сухих веществ в пульпе от 3 до 5% при одном и том же соотношении Р/НР увеличивается количество растворимых сухих веществ в густой массе, извлеченных центрифугированием, а в фугате, соответственно, уменьшается (при  $a_{св}=3\%$ , соответственно 7,5% от общего количества в густой массе и 92,5% в фугате, при  $a_{св}=5\%$  - 12,3% в густой массе и 87,7% в

фугате, при  $a_{\text{св}} = 7\%$ , -  $17,2\%$  в густой массе и  $82,8\%$  в фугате) по линейному закону.

$$\begin{aligned}
 (24) \quad & \left. \begin{aligned}
 & a_{\text{тр1}} = G_{\text{тр1}} / G_1 & (1) \\
 & a_{\text{тн1}} = G_{\text{тн1}} / G_1, & (2) \\
 & a_{\text{в1}} = G_{\text{в1}} / G_1, & (3) \\
 & G_{\text{тн1}} = a_{\text{тн1}} * G_1, & (4) \\
 & G_{\text{тн2}} = G_{\text{тн1}} * k_{\text{н}} & (5) \\
 & G_{\text{в1}} = a_{\text{в1}} / G_1, & (6) \\
 & G_{\text{тр1}} = a_{\text{тр1}} * G_1, & (7) \\
 & a_{\text{тр1в}} = G_{\text{тр1}} / G_{\text{в1}}, & (8) \\
 & a_{\text{тр3в}} = a_{\text{тр1в}}, & (9) \\
 & G_{\text{зм}} = \frac{k_{\text{н}} * G_{\text{тн1}}}{1 - a_{\text{мп1в}} * a_{\text{в2}} - a_{\text{в2}}} & (10) \\
 & G_{\text{в2}} = a_{\text{в2}} * G_{\text{гм}}, & (11) \\
 & G_{\text{тр2}} = a_{\text{тр1}} * G_{\text{в2}}, & (12) \\
 & a_{\text{тр2}} = G_{\text{тр2}} / G_{\text{гм}}, & (13) \\
 & a_{\text{тн2}} = G_{\text{тн2}} / G_{\text{гм}}, & (14) \\
 & a_{\text{св2}} = a_{\text{тн2}} + a_{\text{тр2}}, & (15) \\
 & G_3 = G_1 - G_{\text{гм}} & (16) \\
 & a_{\text{в3}} = 1 - a_{\text{тр3в}} & (17) \\
 & G_{\text{в3}} = a_{\text{в3}} * G_3 & (18) \\
 & G_{\text{тр3}} = a_{\text{тр3в}} * G_{\text{в3}} & (19) \\
 & N_{\text{общ}} = 1000 * M * H_6 * n_{\text{б}}^3 * r^4 & (20) \\
 & N_9 = N_{\text{общ}} * \tau_{\text{сез.}} & (21) \\
 & A = C_{\text{с}} E_{\text{н}} / (G_1 * \tau_{\text{сез}} * 3600); & (22) \\
 & Z_{\text{с}} = (A * G_{\text{т}} / G_1) + C_9 * N_9 / (3600 * G_1) & (23)
 \end{aligned} \right\}
 \end{aligned}$$

При выпаривании фугата определяется оптимальное значение расхода пара (энергозатрат) существующих МВУ, используя значение концентрации

раствора на выходе центрифуги, каждого из аппаратов МВУ, а также расход греющего пара.

Использование системного подхода к анализу конечных предложений по разработке систем оптимального управления вызывает необходимость переводить в основной план координаты процесса (концентрация, температурный режим, давление), а расходы вторичного пара и выходящего раствора определяют по концентрации конечного продукта.

Разработан метод расчёта и моделирования статистики процесса, за основу которого принято математическое описание концентрирования раствора выбранного корпуса. По такой методике были смоделированы прямоточные МВУ для концентрирования фугата томатной пульпы, результат которого представлен в виде системы (37) математических уравнений.

$$\begin{aligned}
 (37) \quad Z_4 &= \frac{Z_5(i_{\text{ep}2} - c_{\text{e}} c_f * t_{\text{ep}2} + c_{\text{e}} * t_{\text{ep}1}) + Z_3(i_{\text{ep}1} - c_{\text{к}1} * t_{\text{к}1})}{i_{\text{ep}1} + i_{\text{ep}2} + c_{\text{r}1} * t_{\text{к}1} - c_{\text{e}} * t_{\text{ep}1}} & (25) \\
 Z_3 &= 1 / a_{\text{тр}3\text{в}} & (26) \\
 Z_5 &= 1 / a_{\text{тр}5} & (27) \\
 a_{\text{тр}4} &= 1 / Z_4 & (28) \\
 G_{\text{к}} &= \frac{a_{\text{св}1} * G_1}{a_{\text{к}}} & (29) \\
 G_5 &= \frac{a_1 G_1 - a_{\text{к}} G_{\text{к}}}{a_{\text{к}}} & (30) \\
 a_{\text{мп}5} &= \frac{a_{\text{к}}^2 G_2 + a_{\text{к}} (a_1 G_1 - a_{\text{к}} G_2) - a_2 a_{\text{к}} G_2}{a_1 G_1 - a_{\text{к}} G_2} & (31) \\
 G_{\text{v}} &= (1 - a_{\text{мп}3\text{в}} / a_{\text{мп}5}) * G_3 & (32) \\
 D &= \frac{G_3 * (1 - \frac{a_{\text{мп}3\text{в}}}{a_{\text{мп}4}}) * c_{\text{к}2} * t_{\text{к}2} + \frac{a_{\text{мп}3\text{в}}}{a_{\text{мп}4}} * (1 - \frac{a_{\text{мп}4}}{a_{\text{мп}5}}) * i_{\text{ep}2}}{(i_{\text{p}0} - i_{\text{к}1})} & (33) \\
 A &= C_{\text{в}} E_{\text{н}} / G_3 \tau_{\text{с}} 3600 & (34) \\
 Z_{\text{БК}} &= N_{\text{max}} C_{\text{з}} / 3600 * G_5 & (35) \\
 Z_{\text{в}} &= A + C_{\text{п}} D / 1000 * G_{\text{в}} + Z_{\text{БК}} & (36)
 \end{aligned}$$

Здесь (25) уравнение для определения промежуточной концентрации фугата, (26, 27, 28) выражения для концентрации раствора на выходе, в промежуток и выходе в МВУ. Уравнения (29,30) получены для производительности системы по конечной томат-пасте и по концентрату, получаемой выпариванием. Уравнение (31) представляет собой выражение для концентрации твёрдого растворимого компонента на выходе МВУ, полученное из материального баланса системы Ц-В. Из уравнений материального баланса, определён расход выпариваемой влаги из фугата в МВУ (32). Расход пара в МВУ представлен в виде уравнения (33), представляющего собой обобщённый вид математического описания концентрации фугата. Амортизационные отчисления на капитальные вложения и денежное выражение энергетических затрат отражены при помощи уравнений (34, 35, 36).

Целью использования системы Ц-В томатной пульпы является достижение максимальной концентрации готовой продукции и снижение энергозатрат путём понижения температуры кипения выпариваемого раствора. В существующей схеме это достигается за счёт вакуума, создаваемого насосом и поддерживаемого барометрическим конденсатором. Однако, для достижения максимального результата можно найти пути снижения температуры кипения изучив выпариваемый раствор – пульпу. Одним из путей является максимальное предварительное извлечение Р и НР сухих веществ. НР сухие вещества удаляются центрифугированием. Выпаривается фугат, распределение температуры кипения которого необходимо определить экспериментально в зависимости от остаточного давления в аппарате. Из термодинамики известно, что температура кипения растворов зависит от остаточного давления в вакуум-аппарате. В изучаемых нами установках для уменьшения температуры кипения концентрируемого фугата, как отмечено нами выше, в МВУ создаётся вакуум, за счёт барометрического конденсатора и вакуум-насоса, причём во II корпусе ниже I так, чтобы вторичные пары I корпуса можно было бы использовать в качестве греющего пара и т.д. Температура кипения раствора при требуемой конечной концентрации (30% и выше) значительно выше по сравнению с исходным фугатом. Поэтому необходимо создать глубокий вакуум.

Для томатной пульпы, содержащей НР компоненты при 30%-ной концентрации температура кипения раствора 41<sup>0</sup>С при остаточном давлении в аппарате 8 кПа. А для томатного сока, с которого удалена значительная часть НР компонентов путём экстрагирования томатной пульпы, при таких же условиях выпаривания концентрация раствора доводится до 40%. При абсолютном удалении НР веществ теоретически выпариванием можно довести концентрацию пульпы до 80-82%, т.е. выпарить всю свободную влагу.

Кривая, изображенная на рис.4 показывает, что чем больше НР веществ в томатной пульпе, тем меньше конечной концентрации, до которой можно выпаривать раствор. Она также показывает преимущество центрифугирования перед экстрагированием, а выпаривания экстрагированного сока в свою очередь, перед прямым выпариванием томатной пульпы через выражение (33) для затрат энергии пара. Это рассуждения относительно количества НР веществ в томатной пульпе. Они справедливы для зафиксированного значения

соотношения Р/НР. На горизонтальной оси приведено абсолютное значение концентрации томат-пасты по сухому веществу, причём получаемой до 30% выпариванием обычной томатной пульпы, до 40% - выпариванием сока, частично освобождаемого от НР компонентов экстрагированием, выше 40% - выпариванием сока, полностью освобождённого от НР компонентов центрифугированием. Предел извлекаемости НР компонентов определяется экспериментально.

Связанная влага томатопродуктов составляет до 18% в зависимости от вида продукта, предел выпариваемости свободной влаги определяется экспериментально.

Рассмотрено влияние вакуума в аппарате. Чем глубже вакуум, тем ниже температура кипения раствора, тем меньше расходуется пар. Но создание всё более глубокого вакуума в свою очередь приводит к увеличению энергетических затрат. Для решения этой компромиссной задачи определяется максимальная мощность вакуум-насоса, детализировав поочередно статьи расхода энергии на создание вакуума, денежное выражение которой представлен в виде уравнения (35).

Статика процесса выпаривания фугата томатной пульпы исследована на математической модели (37) с применением современных ЭВМ. Соотношение энергий, затрачиваемых непосредственно на освобождение от томатной массы молекул воды и создание вакуума, обеспечивающего кипение раствора при заданной температуре исследуется теоретически на компьютере.

В процессе расчёта были приняты значения параметров фугата у выхода центрифуги, соответствующие диапазону варьирования параметров на входе центрифуги и двухкорпусной вакуум-выпарной установки.

На рис.5 а) изображена зависимость расхода пара от безразмерной концентрации сухих веществ ( $a_{\text{тр5}}$ ), в двухкорпусной вакуум-выпарной установке. До концентрации 30% кривая изменяется резко, далее, в основном за счёт второго корпуса повышение концентрации замедляется. Дело в том, что по мере сгущения фугата его температура кипения увеличивается, а вакуум, создаваемый во втором корпусе постоянный, стало быть кипение содержимого должно приостановиться на каком-то значении концентрации раствора. Для того, чтобы интенсифицировать процесс, необходимо углубить вакуум, т.е. мощность вакуумной установки должна увеличиваться в зависимости от концентраций. На практике создают максимальный вакуум. Однако, существует компромиссное решение между этим значением вакуума и установленной окончательной концентрацией (25, 30, 35, 40, 45, 50%) готовой продукции. Для исследуемой нами системы Ц-В пересмотрена эта задача, так как выпаривается фугат, предварительно освобождённый от НР компонентов.

Из графиков видно, что при минимальной концентрации сухих веществ  $a_{\text{тр3}}$  на входе в МВУ расход пара изменяется по кривой, приближающейся к горизонтальной линии. Далее, чем больше концентрации исходного раствора, тем более вертикальное положение занимает кривая изменения концентрации раствора, приближаясь к граничному положению (граничное положение – это

предел выпариваемости раствора). По этой причине все эти кривые пересекаются в области расхода пара  $D = 0,64-0,66$  кг/с.

На рис.5 б) изображена зависимость расхода пара от концентрации сухих веществ ( $a_{\text{тр}3}$ ) в фугате для значений сухих веществ исходной пульпы, варьируемых в пределах 4-9%. Анализ графиков показывает, что расход пара в зависимости от концентрации  $a_{\text{тр}3}$  изменяется обратно пропорционально по линейному закону.

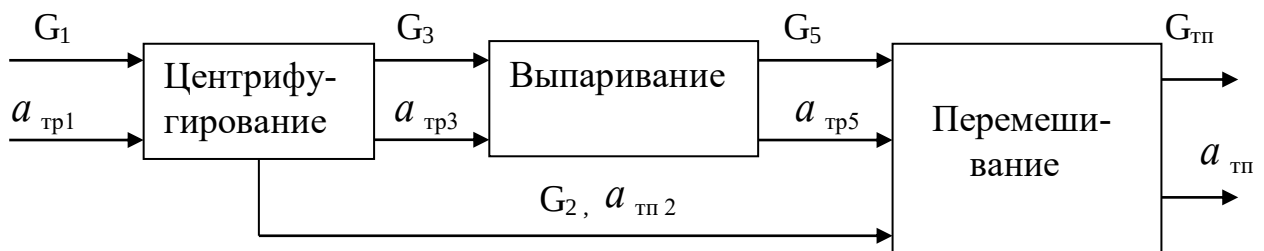
Результаты исследований математической модели технологической системы Ц-В, изображенных на рис.6 (а) и (б) показывают, что затраты на центрифугирование томатной пульпы перед выпариванием примерно на порядок меньше по сравнению с выпариванием фугата. Затраты на получение густой массы с концентрацией 30% составляют 0,010 сум/кг, а на получение выпаренного фугата с концентрацией 30% - 0,311 сум/кг (здесь 0,197 сум/кг затрачивается на выпаривание, и амортизационные отчисления капитальных вложений, 0,114 сум/кг на создание вакуума в системе). Сухой компонент густой массы в основном состоит из НР компонентов и в диапазоне  $R/HR = 2-6$  составляет 0,5-0,11 –ую часть растворимых компонентов.

По Узбекистану выращиваются томаты с  $R/HR = 2-3$ . Поэтому разделение НР компонентов томатной пульпы позволяет с 31,1 кратной экономией энергии получить 25-33% -ную томат-пасту. Экономия энергии на 1 кг густой массы в 10 раз, то есть на порядок. Помимо этого томат-паста, полученная в технологической системе Ц-В сохраняет первоначальные показатели качества. С другой стороны выпарка фугата, освобождённого от сухих НР компонентов, осуществляется с несколько сниженными затратами энергии, при этом устраняются потери томат-пасты за счёт пригорания, прилипания к стенкам аппарат, имеющие место при существующей технологии.

Несмотря на это, необходимо найти наиболее оптимальную область концентраций  $a_{\text{св}2}$ , использование процесса центрифугирования технологической системы в которых является рациональным. Для решения задачи оптимизации необходимо выбрать критерий оптимизации, функцию цели и конкретного оптимизирующего параметра.

Критерием оптимальности является затраты на концентрирование пульпы  $Z$ .

Изменение концентрации и расхода компонентов томатной пульпы при переработке по схеме Ц-В можно представить в виде следующей функциональной схемы:



Для определения оптимального значения суммарных затрат энергии на получение томат-пасты по схеме Ц-В используем следующую последователь-

ность операций:

1. Задаем значения концентрации томат-пасты  $a_{\text{тп к}} = 30\%$  (Графики получаемых зависимостей изображены на рис.7).

2. Выполняем расчёт математической модели технологической системы Ц-В для значений  $a_{\text{тп св2}}$ , варьируемой в пределах 10-75%.

3. Построим экспериментальную кривую зависимости затрат на центрифугирование  $Z_c$  от концентрации получаемой густой массы, для чего выполним два этапа:

3.1. Построим график зависимости мощности электродвигателя центрифуги  $N$ , необходимой на получение заданного диапазона концентрации  $a_{\text{тп св2}}$ .

3.2. Построим график зависимости затрат на центрифугирование  $Z_c$  от мощности  $N$ .

4. Построим график зависимости концентрации томат-пасты, получаемой выпариванием  $a_{\text{тп тр5}}$ , от концентрации густой массы  $a_{\text{тп св2}}$ .

5. Воспользуясь графиком зависимости  $a_{\text{тп тр5}} = f(a_{\text{тп св2}})$  определим расход томат-пасты  $G_5$ , получаемой выпариванием.

5. Построим график зависимости затрат от расхода  $G_5$ .

6. Определим зависимость затрат на выпаривание от концентрации  $a_{\text{тп св2}}$

7. Суммируя графики зависимостей  $Z_c = f(a_{\text{тп св2}})$  и  $Z_{\text{vv}} = f(a_{\text{тп св2}})$  построим график суммарных затрат на концентрирование томат-пасты по схеме Ц-В.

8. Анализируя построенный график определим область минимальных затрат и оптимальной концентрации томат-пасты при переработке томатной пульпы по схеме Ц-В.

Полученная номограмма служит для определения необходимой концентрации томат-пасты, получаемой из фугата выпариванием в зависимости от концентрации густой массы, которую обеспечивает центрифуга. По описанной схеме можно строить номограмму для каждой задаваемой концентрации конечного продукта.

Активация пектолитических ферментов путём нагрева томатов ИК-облучением и разделение кожицы – полимера без остатков мякоти проверена экспериментально, найден оптимальный режим процесса, обеспечивающий превращение подкожного протопектина томатов, выполняющий роль склеивающего вещества мякоти томатов к кожице, в растворимый пектин.

Теоретические результаты, полученные исследованием математического описания системы Ц-В подтверждены экспериментально, путём определения следующих физико-механических параметров, а именно температуры кипения томатной пульпы и фугата, зависимости концентрации густой массы, извлекаемой центрифугированием от затрачиваемой мощности, разделяемости томатной пульпы центрифугированием, выпариваемости фугата в зависимости от остаточного давления в аппарате. По результатам центрифугирования представляется возможным судить об адекватности математического описания реальному процессу.

Анализируя результаты экспериментов по центрифугированию пульпы сделаны следующие выводы:



- для разделения томатной пульпы на фугат и густую массу желательно прибегнуть к принципу осаждения твёрдых взвешенных частиц на сплошной стенке барабана;
- для организации непрерывного режима работы целесообразно использовать молочные сепараторы типа ОЦТ-500;
- центрифугированием можно получить фугат прозрачный, без твёрдых частиц;
- концентрация густой массы и время центрифугирования (затраты электроэнергии) имеют линейную зависимость.

Далее цвет выпариваемого фугата начинает желтеть и постепенно приобретает сначала светло коричневый и постепенно тёмный цвет. Изменение цвета связано с прохождением реакций меланоидинообразования и карамелизации. Нами приостановлено выпаривание при различных концентрациях сгустков (80, 82, 85%) по сухим веществам. Полученный сгусток обладает хорошим запахом, кислым вкусом и янтарным цветом.

### **Стерилизация консервов, дезинфекция тары**

Применение современных методов теплофизической обработки, например стерилизации в электромагнитных полях ИК-СВЧ диапазона или активированных сред для уничтожения гнилостных бактерий, находящихся в томатах и таре, позволяет при низких температурах снизить цикл стерилизации, тем самым сократить расход энергии, сохранить биохимический состав готовой продукции.

Исходя из этого нами предложены две пути улучшения этого процесса:

- 1) изучение распределения тепла по стерилизуемому изделию и рациональное с точки зрения поставленной нами цели (снижение теплового режима по времени и по максимальной температуре) ведение процесса стерилизации;
- 2) замена теплового процесса стерилизации тары обработкой активированной водой для их дезинфицирования.

В качестве примера рассмотрен процесс распределения температуры по времени в томатном соке, расфасованном в литровую банку, а также по радиусу отдельно взятого консервированного в маринаде целого томата.

Среди томатопродуктов, производимых на консервных заводах, распространёнными являются натуральные и концентрированные томатные соки.

Математическое описание распределения тепла в любой точке расфасованного в банке сока, вытекает из дифференциального уравнения теплопроводности Фурье.

Для применения численного метода расчёта стеклянная банка условно разбивается на элементарные участки по радиусу (i) и по высоте (j). Выражение для температуры имеет вид:

$$t = t_{ij} + \left[ \lambda \frac{t_{i-1} - t_{ij}}{\Delta R} \Delta S_i - \lambda \frac{t_{i+1} - t_{ij}}{\Delta R} \Delta S_{i+1} + \lambda \frac{t_{ij-1} - t_{ij}}{\Delta R} \Delta S_n - \lambda \frac{t_{ij+1} - t_{ij}}{\Delta H} \Delta S_n \right] * \frac{\Delta \tau}{V_{\kappa}^i \rho * c} \quad (38)$$

$V_{\kappa}^i$  - объем кольца цилиндра с наружным и внутренним радиусами  $R_i + \frac{\Delta R}{2}$  и  $R_i - \frac{\Delta R}{2}$ , и высотой  $\Delta H$ , для  $i$  - го участка определяется по выражению

$$V_{\kappa}^i = \pi * \Delta H \left[ \left( R_i + \frac{\Delta R}{2} \right)^2 - \left( R_i - \frac{\Delta R}{2} \right)^2 \right] \quad (39)$$

Наружная и внутренняя поверхности цилиндра определяются по выражениям

$$\Delta S_i^n = 2\pi \left( R_i + \frac{\Delta R}{2} \right) \Delta H ; \quad \Delta S_i^n = 2\pi \left( R_i - \frac{\Delta R}{2} \right) \Delta H \quad (40)$$

Поверхность кольца, которую образуют наружный и внутренний цилиндры, определяется по выражению

$$S_n = \pi \left[ \left( R_i + \frac{\Delta R}{2} \right)^2 - \left( R_i - \frac{\Delta R}{2} \right)^2 \right] \quad (41)$$

Результаты исследования математического описания на ЭВМ приведены на рис. 8, а результаты экспериментального исследования температуры по пятому и десятому (центральному) подслоям сока при температуре среды равной  $100^{\circ}\text{C}$  внесены в этот рисунок в виде экспериментальных точек.

Анализ полученных результатов показывает, что температура содержимого банки увеличивается по экспоненциальной зависимости. Исследование математической модели продолжено до достижения содержимого банки значения  $100^{\circ}\text{C}$  при температуре среды в автоклаве  $100^{\circ}\text{C}$ , однако, поскольку движущая сила теплового процесса  $\Delta t$  уменьшается до минимума, то хвостовая часть экспоненты затягивается до бесконечности. Исследован процесс при температурах среды, равной 110, 120, 130, 140,  $150^{\circ}\text{C}$ . При температуре среды  $t_{\text{cp}}=110^{\circ}\text{C}$  время нагрева геометрического центра банки до  $100^{\circ}\text{C}$  составляет 120 мин, при  $t_{\text{cp}}=120^{\circ}\text{C}$  – 100 мин, при  $t_{\text{cp}}=130^{\circ}\text{C}$  – 95 мин, при  $t_{\text{cp}}=140^{\circ}\text{C}$  – 70 мин и при  $t_{\text{cp}}=150^{\circ}\text{C}$  40 мин.

Результаты сравнения теоретических и экспериментальных значений температуры по среднеквадратическому отклонению показывает, что математическая модель описывает реальный процесс с 7% - ной точностью.

Выполненное нами исследование теплового процесса стерилизации консервов носит универсальный характер, аналогично получено математическое выражение для распределения температуры по радиусу томата, консервированного в жидкостной среде. Получены достоверные, экспериментально подтвержденные результаты.

Компьютерное исследование распределения температуры необходимо для оптимизации тепловых стерилизаторов, где каждому значению рабочей температуры соответствует единственное значение времени стерилизации. Эти параметры регламентируются технологией переработки того или иного сырья.

Нами предложена конструкция карусельной моечной машины обеспечивающая чистоту банок за один или несколько оборотов карусели, применив при этом активированную воду: с кислотностью  $pH=12,0 - 13,0$  в качестве моющего средства, а с кислотностью  $pH=2,0 - 3,0$  для окончательного ополаскивания банки и дезинфекции. Обеспечивается мойка банок с диаметром горла 83 мм независимо от их объёма.

На рис.9 изображена принципиальная схема предлагаемого устройства, состоящая из: карусели 1 со спицами 2, привода 3, корзины 4 ванн 5 и 9, насосов 6 и 10 патрубков 7 и 8, трубопроводов 11 и 12, дуг труб 13 и 14, желоба 15, сифонов 16, электрохимического активатора воды 17, коммуникационных трубопроводов 18, 19 и 20, транспортера 21. Преимуществом данного устройства является замена моющего средства щелочной водой – «католитом», а мойка «анолитом» используется для дезинфекции; нагрев воды и поддержка определённой температуры в различных ваннах существующих моечных машин исключается. Температура «католита» и «анолита» при электрохимической обработке воды поднимается до  $50^{\circ}C$ , этого достаточно для снятия жирных пятен с банки. Термический и механический бой стеклянных банок исключён.

### Сушка томатных семян

Математическая модель процесса сушки томатных семян включает уравнения материального и теплового балансов, уравнения распределения температуры и влаги по сечению аппарата, уравнения гидродинамической обстановки и молекулярной диффузии влаги внутри семени. Полученный модуль служит для исследования процесса сушки томатных семян в пневмоаппарате, выходом которых являются параметры, служащие исходными данными для проектирования соответствующих аппаратов.

Исследования произведены в широком диапазоне изменений соотношения расходов семян и воздуха  $G_c/G_v$ , начальных температур семян  $t_c$  и воздуха  $t_v$ , мощности ИК – излучателей  $N$  зоны испарения влаги, коэффициента испарения влаги  $K$ . Результаты исследований математического описания приведены на рис.10-11. По результатам исследований определены оптимальные значения перечисленных выше параметров.

Получены зависимости выходных значений температур и влажности от входных, варьируемых в диапазоне  $40-120^{\circ}C$ , где разность влажности составляет всего 0,38%.

Аналогично получены зависимости температуры воздуха и остаточной влажности семян по длине аппарата. Из анализа результатов исследований следует, что повышение температуры рабочего агента не достаточно интенсифицирует процесс сушки.

Наибольший интерес представляют зависимости температуры и остаточной влажности семян от мощности подводимой лучистой энергии, источником которой является ИК – лампы. Источник ИК – лучей восполняет энергию, затрачиваемую на испарение влаги. Кривые, обозначенные знаками  $\square$ ,  $\times$ ,  $\diamond$ ,  $=$ ,  $\nabla$ ,  $\blacktriangle$  характеризуют изменение температуры семян по длине

аппарата: □ - N = 1,5 кВт, × - N = 2,0 кВт, ◇ - N = 2,5 кВт, = - N = 3,0 кВт, ▼ - N = 3,5 кВт, ▲ - N = 4,0 кВт. Из рисунка видно, что мощности от 0,5 до 1,5 кВт недостаточно для отгонки влаги из семян, так как, если б испарилась столько влаги, семена б охладились соответственно при N = 0,5 кВт

$$V_g = \frac{G_g / \rho_g}{\pi r_a^2 - G_c / (\rho_c v_c)}, \quad (42)$$

$$V_c = V_g - \sqrt{\frac{2m_c g}{\pi r_c^2 \rho_c}}, \quad (43)$$

$$G_w = G_H (W_o - W_c) / W_c, \quad (44)$$

$$G_c = G_H - G_w \quad (45)$$

$$x_i = (G_B x_o + G_w) / (G_B + G_w) \quad (46)$$

$$t_{ci} = \frac{G_H c t_c - G_H I_n + \alpha F (t_g - t_c) + 0,6 N_{ук}}{(G_H - G_w) c} \quad (47)$$

$$t_{BK} = (Q_{пп} / (G_B + G_w) - 2493 * x_i) / (1,01 + 1,97 * x_i) \quad (48)$$

$$P_{Bi} = 1,61 P_o / (1 + 0,61 x_i), \quad (49)$$

$$P_{Bi} = 11,80219 - 0,6943466 t_B + 1,4161049 E-02 t_g^2 / 1000; \quad (50)$$

$$W_{ci} = W_o + \frac{\pi^2 d l D}{4 v_c r_c^2} (W_p - W_o), \quad (51)$$

$$W_c = W_o - B F (P_{п} - P_{Bi}) / G_c, \quad (52)$$

$$B = C \frac{M D_1 L}{R T_n}, \quad (53)$$

$$F_i = (x_i P_{общ} / (0,622 P_{п} + x_i P_{п})) * 100 \quad (54)$$

до - 74<sup>0</sup>С, при N = 1,0 кВт до - 39<sup>0</sup>С, при N = 1,5 кВт до - 5<sup>0</sup>С. На самом деле, с точки зрения физики процесса, этого не может быть. При N = 2,0 кВт семена охлаждаются до 29<sup>0</sup>С, что вполне возможно, так как на участке от l = 0,6 м до l = 0,9 м температура достигает максимального значения, равного 72<sup>0</sup>С, интенсифицируется испарение и падает температура до 29<sup>0</sup>С. В диапазоне N=2,0 – 3,5 кВт температура семян сначала растёт, в участке l = 0,6-0,9 м достигает своего максимального значения, а затем падает. При N равной 3,5 кВт и более температура семян неизменно растёт. Температура воздуха изменяется аналогично температуре семян. Остаточная влажность семян w<sub>c</sub> при N = 0,5 кВт составляет 15,56%, а при N = 4 кВт 11,19%. Разность составляет 4,37%, судя по которой можно считать процесс сушки интенсивным.

На рис.10 изображены кривые зависимости температуры и остаточной влажности семян от соотношения расходов семян и воздуха. Для данного диаметра аппарата оставив неизменным производительность G<sub>c</sub> варьируем расходом воздуха G<sub>B</sub>. С увеличением расхода воздуха увеличиваются скорости потоков семян и воздуха в аппарате, при той же производительности по

семенам, увеличивается скорость семян. Это означает, что время пребывания семян в зоне сушки уменьшается. Поэтому с ростом расхода воздуха, увеличивается количество остаточной влажности. Температура семян также повышается, так как снижается испарение влаги, позволяющее снижать температуру семян. При  $G_b = 1,5$  кг/с в отрезке  $l = 1,2$  м температура семян повышается с  $40$  до  $65^\circ\text{C}$  остаточная влажность семян составляет  $13,17\%$ , при  $G_b/G_c = 0,38$  с  $40$  до  $237^\circ\text{C}$ , остаточная влажность семян составляет  $19,16\%$ . Разность остаточной влажности при этом составляет  $5,99\%$ , что очень велико, а значит соотношение расходов семян и воздуха играет первостепенную роль при осуществлении процесса сушки, причём необходимо по возможности уменьшить скорость воздуха, а следовательно семян в пневмотранспортёр. При  $G_c/G_b = 1,5$  скорость семян составляет  $v_c = 5,3$  м/с, а воздуха  $v_{\text{воз}} = 12,2$  м/с.

Получены также зависимости температуры и влажности семян от коэффициента испарения влаги  $K$ , зависящего от формы, геометрических размеров аппарата, а также режимных параметров процесса. Исследовав модель для значений  $K = 0,5-3,5$   $\%/m^2$  (при других размерах аппарата, соотношений расходов  $G_c/G_b$  и температур математическая модель исследуется для другого диапазона коэффициента испарения влаги) по температурам семян и воздуха подбирается значение  $K$ , подтверждается экспериментально. В данном случае  $K = 1,5-2,0$   $\%/m^2$  подходит для дальнейших исследований. Соответственно, остаточная влажность для границ этой области составит  $14,21$  и  $13,18\%$ . Величина разности в  $1,03\%$  говорит о необходимости более точного подбора коэффициента  $K$ .

Анализ полученных результатов показывает, что из рассмотренных вариантов наиболее эффективный режим сушки томатных семян обеспечивается при  $v_c$  менее  $5,3$  м/с, соотношение скоростей семян и воздуха при этом составляет менее  $0,044$ , значит, промышленные установки необходимо спроектировать так, чтобы соблюдать это значение соотношения скоростей. Нижний предел скорости семян также определяется исследованием математической модели.

Таблица 1

Результаты двухуровневой оптимизации процесса сушки томатных семян

| Уровень оптимизации | Класс процесса и объект уровня  | Критерий оптимизации (функция цели)                                                                           | Оптимизируемые факторы              | Ограничения                                      | Оптимальные значения параметров                                       |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| II                  | Процесс пневмо-сушки в аппарате | $C = f(A, C, N, \text{ЗП}, \dots) \rightarrow \min$                                                           | $l$                                 | $W_c < W_{\text{зад}}$<br>$t_c < t_{\text{зад}}$ | $l < l_{\text{опт}}$<br>$t = N_{\text{ик опт}}$                       |
| I                   | Поток воздуха<br>Поток семян    | Критерий<br>$Re = D_l / v_c l$<br>$\tau_{\text{ср}} - \tau_i = \varepsilon$<br>$\varepsilon \rightarrow \min$ | $\varphi$<br><br>$Re = D_l / v_c l$ | $W_b > W_{\text{зад}}$<br><br>$l / D_a$          | $G_c / G_b = A$<br>$A = A_{\text{опт}}$<br><br>$D_a = D_{\text{опт}}$ |

Следующим этапом математического моделирования является оптимизация исследуемого процесса – выявление наилучших параметров процесса и

конструктивных размеров аппаратов, при которых целесообразно проводить процесс из экономических соображений (табл.1).

Для рассматриваемой задачи найдено целесообразным применение многоуровневого метода оптимизации, сущность которого заключается в декомпозиции исходной глобальной задачи оптимизации рассматриваемого процесса сушки и в последующем координационном согласовании результатов решения задач оптимизации и для отдельных подсистем с учетом их структурных взаимосвязей в системе.

Осуществлена формулировка задачи оптимизации в следующей последовательности: выбор критерия оптимальности, выбор оптимизирующих факторов и анализ весомости, установление и анализ ограничений на основные параметры процесса, определение целевой функции.

Задачу оптимизации формулируем по выделенным уровням:

На первом уровне объектом оптимизации является элемент влажного материала - семя. Определяются его физико-химические параметры, рассматриваются способы их изменения в необходимом направлении. Во втором уровне объектом оптимизации является гидродинамическая структура потоков газа и семян томатов.

В пневмотранспортных аппаратах с гидродинамической структурой потоков, описываемой моделью идеального вытеснения, функцию цели выражается исходя из критерия Пекле в следующем неявном виде

$$Pe = f(d_a, l, G_v, \rho_v, P, \dots) = \infty \quad (56)$$

$$D_l / v_c l = 0, \quad (57)$$

При нахождении экстремального значения функции цели считается заданным первое ограничение, представляемое в виде системы уравнений (55), которая есть математическая модель статики процесса пневмосушки томатных семян; другие ограничения задаются исходя из стандартных требований к томатным семенам по технологическому регламенту в виде равенств или неравенств, определяющих область применения процесса пневмосушки:

$$t_c < 90^\circ\text{C}; \quad w_k < 10 \%. \quad (58)$$

На третьем уровне объектом оптимизации является аппарат пневмосушки. Наиболее емким критерием оптимальности является выражение для себестоимости затрат

$$C_3 = (A, C_3 N, 3P, \dots) \rightarrow \min \quad (59)$$

Ограничением для решения данного этапа задачи оптимизации являются геометрические размеры аппарата: высота и диаметр. Оптимизирующим фактором является длина аппарата.

Экспериментальным путем определены параметры, характеризующие гидродинамику потоков рабочего агента и сыпучего материала, проверена достоверность расчетных значений температуры рабочего агента, конечной влажности томатных семян, соотношения расходов томатных семян и рабочего агента.

Сопоставление результатов экспериментов с расчетными данным, полученными с помощью математической модели процесса пневмосушки

| Значение входных параметров |                |                  |               | Значение влажности по расчету математической модели |                  |                            | Экспериментальное значение влажности |                  |                            |
|-----------------------------|----------------|------------------|---------------|-----------------------------------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------|----------------------------|
| N<br>Опыта                  | $t_{в},$<br>°C | $G_{в},$<br>кг/с | $W_{н},$<br>% | $W_{ост},$<br>%                                     | $\Delta W,$<br>% | $\frac{\Delta W}{W_{ост}}$ | $W_{ост},$<br>%                      | $\Delta W,$<br>% | $\frac{\Delta W}{W_{ост}}$ |
| 1                           | 00             | 0,6              | 33,33         | 48,54                                               | 51,46            | 1,06                       | 48,5                                 | 51,5             | 1,06                       |
| 2                           | 100            | 0,6              | 20            | 52,11                                               | 47,89            | 0,92                       | 52                                   | 48               | 0,92                       |
| 3                           | 100            | 4,32             | 20            | 52,11                                               | 47,89            | 0,92                       | 52                                   | 48               | 0,92                       |
| 4                           | 40             | 4,32             | 20            | 61,55                                               | 38,45            | 0,62                       | 62                                   | 38               | 0,61                       |
| 5                           | 40             | 0,6              | 20            | 71,78                                               | 38,22            | 0,53                       | 72                                   | 28               | 0,39                       |
| 6                           | 40             | 0,6              | 33,33         | 74,12                                               | 24,88            | 0,34                       | 75                                   | 25               | 0,33                       |
| 7                           | 40             | 4,32             | 33,33         | 75,02                                               | 24,98            | 0,33                       | 76                                   | 24               | 0,32                       |
| 8                           | 100            | 4,32             | 33,33         | 54,31                                               | 45,69            | 0,84                       | 54                                   | 46               | 0,85                       |

Рабочая камера экспериментальной установки представляет собой вертикальную стеклянную трубу диаметром 30 мм и высотой 1200 мм. Снизу труба соединена к горизонтальной трубе, в которой сосредоточены узлы подогрева и подачи томатных семян. Сверху установлен циклон для разделения семян от влажного воздуха.

Обоснована методика проведения экспериментов. Полученные результаты, часть которых приведена в табл.2, проанализированы путем определения среднеквадратического отклонения экспериментальных значений температуры и остаточной влажности семян от расчётных, которое составляет 1,16%, что вполне достаточно для практического её применения.

Составлена экспериментально - статистическая математическая модель и проведена оптимизация процесса пневмосушки томатных семян. Адекватность модели проверена критериями Фишера и Стьюдента, получен положительный результат.

Предложена также система трансцендентных уравнений баланса с итерационным алгоритмом и последующим предложением принципа синтеза процедур решения обратных задач, основанных на использовании искусственных нейронно-сетевых моделей.

Она включает уравнения условий равновесия для проточной пневмосушильной установки при сушке сыпучего материала до равновесного с окружающей средой состояния, материального и теплового балансов для материала и паровоздушной смеси, откуда извлечены выражения для влажности и температуры семян и паровоздушной среды

Система уравнений (68) представляет собой аналитико-экспериментальную математическую модель процесса сушки сыпучего материала в проточной пневмоустановке. Для исследования математического описания использована программа, составленная на MATLAB. В основу программы заложен итерационный алгоритм решения системы в общем случае

нелинейных (трансцендентных) уравнений баланса. Результаты исследования оказались адекватными результатам расчёта испарения влаги с поверхности томатных семян на элементарных участках аппарата по изменению равновесной влаги и парциальных давлений пара и воздуха в паровоздушной фазе. Также совпали соответственно с результатами экспериментов.

$$\begin{aligned}
 & G_w = K w_c \quad (60) \\
 & w_c = \frac{G_{c0} w_0 - G_w}{G_c} \quad (61) \\
 & x_v = \frac{G_w + G_{v0} x_0}{G_v} \quad (62) \\
 (68) \quad & \left\{ \begin{aligned} & t_c = \frac{N + G_{c0} t_0 c + Q - G_w (t_c c_w + r)}{G_c c} \quad (63) \\ & Q = \alpha_{общ} (t_v - t_c) \quad (64) \\ & N = N_0 dl / L \quad (65) \\ & t_v = \frac{G_{v0} t_{v0} c_{v0} - Q + G_w (t_c c_w + r)}{G_v c_v} \quad (66) \\ & c_v = 1,01 + 1,97 x_v + 2493 x_v / t_v \quad (67) \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

где  $G_c$ ,  $w_0$ ,  $G_{c0}$ , - соответственно расход и влажность семян до и после зоны сушки;  $G_v$ ,  $x_v$ ,  $G_{v0}$  - расход и влагосодержание воздуха до и после зоны сушки;  $G_w$  - количество влаги, переходящей с томатных семян к рабочему агенту.  $K$  - коэффициент сушки, выражающий кинетические условия процесса удаления влаги с поверхности сыпучего материала;  $t_c$ ,  $t_0$ ,  $c$  - температура и теплоёмкость томатных семян до и после зоны сушки;  $t_v$ ,  $t_{v0}$ ,  $c_{v0}$ ,  $c_v$  - температура и теплоёмкость рабочего агента (горячего воздуха) на входе и выходе зоны сушки;  $r$  - скрытая теплота парообразования влаги;  $Q$  - количество тепла, переходящее с паровоздушной фазы к семенам благодаря конвективному теплообмену;  $\alpha_{общ}$  - коэффициент, учитывающий конвективную теплоотдачу и величину поверхности семян, одновременно участвующих в процессе теплообмена;  $N_0$  - суммарная мощность ИК-излучателей;  $L$  - длина аппарата сушки.

Математическая модель процесса при его анализе позволяет конструировать эффективные процедуры прогнозирования показателей и результатов процесса по заданным исходным значениям параметров, определяющих конструктивные и режимные условия протекания процесса. Однако при решении задач проектирования возникает насущная потребность в расчётных схемах, позволяющих решить обратную задачу, т.е. находить проектируемые значения исходных параметров процесса, обеспечивающих требуемый уровень выходных показателей.



### **Производственные испытания и эффективность внедрения**

Производственные испытания проведены на базе цеха переработки томатов колхоза «Ташкент» (Ташкентская обл.). В цеху для проведения экспериментов в условиях производства смонтированы молочный сепаратор ОЦТ – 500 с производительностью 5 т/ч, карусельный моечный агрегат с промышленной установкой УВЭ – 9 для электрохимической обработки воды с производительностью по воде 2 т/ч, установка для пневмосушки семян, с ИК – подогревом зоны сушки.

Исследованы возможности: разделения густой массы с томатной пульпы, дезинфекции тары и крышек, сушки томатных семян, стерилизации согласно нашим рекомендациям. Полученные результаты подтвердили данные компьютерных и лабораторных исследований.

Таким образом, создана линия, в которой смягчен режим ТМО процессов на всех стадиях переработки томатов, тем самым сокращены энергетические затраты на переработку. Линия эксплуатирована в течение двух сезонов, образцы изделий, после годичного хранения прошли лабораторные исследования на токсичность в городском СЭС. Имеется заключение лаборатории об отсутствии ядовитых веществ, вредных для организма человека.

В целом экономический эффект от внедрения предложенных установок складывается из следующих составляющих:

При осуществлении подогрева в трубчатых аппаратах имеет место перегрев последней до температуры, превышающей 70<sup>0</sup> С, что уже отражается на биохимическом составе пульпы. Применение ИК-нагрева позволяет предотвратить эти скачки температуры дробленной массы - нагреть поверхность целых томатов до глубины приблизительно 1 мм. Это означает экономию энергии в 8-10 раз. Отпадает необходимость в протягивании коммуникаций для подвода пара, отвода конденсата.

Применение технологической системы центрифугирование-выпаривание, позволяет сократить затраты энергии на выпаривание пульпы, потери томат-пасты, связанные с образованием нагара и прилипанием к стенкам аппаратов и трубопроводов, повысить качество и концентрацию томатопродуктов.

Изучение и организация процесса стерилизации на основе результатов математического моделирования процесса позволяет сократить расход энергии пара на 10-15%, предотвратить выпуск недостерилизованной и перестерилизованной продукции. При этом тара дезинфицируется активированной водой.

Переработка отходов производства - сушка и подготовка к промышленной переработке семян томатов.

Помимо прибыли создание разработанной линии позволяет переработать томаты без нанесения вреда экологии, предприятия средней мощности для переработки сельхозсырья размещаются непосредственно в хозяйствах и обеспечивают население дополнительными рабочими местами, предотвращают потери томатов при погрузке, транспортировке и разгрузке на централизованном заводе.

## Заключение

1. Выполнен аналитический обзор работ, посвященных проблеме математического моделирования процессов переработки томатов. Выделены процессы, исследование и оптимизация которых необходимы для создания оптимальных линий переработки томатов. Предложена шестиуровневая иерархическая структура и на ее основе проанализирована степень детализации каждого блока полных моделей процессов. Рассмотрены характерные конструктивные особенности различных групп аппаратов, разделенные по существующим признакам, для осуществления процессов расщепления протопектина, концентрирования томатопродуктов выпариванием, стерилизации тары и расфасованных изделий, пневмосушки томатных семян.

2. Применена методология системного анализа, позволяющая на единой методологической основе формализовать полные математические модели исследуемых процессов. Это дало возможность исследовать и биохимические процессы, протекающие в живых клетках растений при протекании процессов, осуществляемых в различных по конструкции аппаратах.

Получены математические описания процессов, путем соответствующего агрегирования на основе блочного принципа математических описаний элементов рассматриваемых процессов, сформированы модели, в наиболее полной мере отражающие основные физико-химические закономерности рассматриваемых процессов, а также явления, подчиняющиеся основным законам механики.

3. Предложен способ фракционированного концентрирования томатопродуктов в технологической системе центрифугирование – выпаривание с последующим перемешиванием концентрированных томатопродуктов. Получено математическое описание процесса центрифугирования на верхних ступенях иерархии системного анализа, включающее уравнение материального баланса относительно концентраций водорастворимого Р и нерастворимого НР сухих веществ томатов. Предложен алгоритм и составлена программа исследования на языке Турбо-Паскаль для современного ЭВМ. Приведены анализы результатов исследования математической модели, сосредоточенные к определению энергозатрат процесса центрифугирования томатной пульпы.

4. Приведена система уравнений материального и теплового балансов процесса концентрирования томатопродуктов в двухкорпусной вакуум-выпарной установке с учётом затрат энергии и материалов на единицу продукции и амортизационных отчислений капитальных вложений, представляющая собой математическую модель процесса выпаривания фугата томатной пульпы.

5. Составлены алгоритмы и программы исследования математической модели технологической системы центрифугирование-выпаривание в целом. Приведены результаты исследований математической модели в широком диапазоне варьирования входных параметров процесса. Выполнен анализ полученных результатов относительно весомости параметров, влияющих на ход протекания процесса выпаривания.

6. Предложены математические модели процессов тепловой стерилизации расфасованных цельноконсервированных томатов и однородных томатопродуктов, на примере томатного сока, представляющих собой распределение температуры по координатам стерилизуемого продукта согласно закону Фурье. Предложены соответствующие алгоритмы исследования и программы на языке Турбо-Паскаль для исследования на современных ЭВМ.

7. Путём проведения предварительных экспериментов выполнена процедура выбора способа сушки. С этой целью проведены эксперименты для получения кинетических закономерностей процесса сушки томатных семян в псевдооживленном и плотном слоях, и сформулировано графическое представление изменения влагосодержания продукта во времени, называемое кривой сушки. Кривые сушки для каждого материала получаются индивидуально, экспериментальным путем.

8. Получена математическая модель процесса сушки томатных семян в пневмотрубе, включающая уравнения гидродинамической обстановки в пневмотрубе, материального и теплового балансов, а также условий равновесия и насыщения рабочего агента – горячего воздуха парами воды. Разработан алгоритм расчётов уравнений модели. Программная реализация алгоритма выполнена применительно к современным ЭВМ. Получены зависимости остаточной влажности семян на выходе из аппарата от соотношения расходов семян и рабочего агента, мощности ИК-ламп, вводящих энергию в зону испарения влаги, начальной влажности семян, и температуры рабочего агента на входе в аппарат. Выработаны рекомендации по выбору их оптимальных значений.

Предложен итерационный алгоритм решения системы трансцендентных уравнений баланса. Результаты исследования оказались адекватными к результатам расчёта испарения влаги с поверхности томатных семян на элементарных участках аппарата по изменению равновесной влаги и парциальных давлений пара и воздуха в паровоздушной фазе. Они также идентичны результатам экспериментов.

9. Проведены эксперименты по определению параметров ИК – обработки томатов для разделения кожицы томатов от мякоти. Проверена отделяемость кожицы при направленном воздействии тепловой энергии на подкожный протопектин томатов.

10. Проверены адекватности расчётных параметров к реальному процессу путём экспериментального воспроизведения процессов центрифугирования томатной пульпы, стерилизации цельноконсервированных томатов и томатного сока, процесса сушки томатных семян.

11. Оптимизация основных процессов переработки томатов включает оптимизацию процессов концентрирования в системе центрифугирование – выпаривание, стерилизации цельноконсервированных томатов и томатного сока, сушки томатных семян.

Технологическая система центрифугирование-выпаривание оптимизирована графическим способом путём построения номограммы - кривых изменения затрат на центрифугирование пульпы, выпаривание фугата и

получение концентрированного томатопродукта путём перемешивания полученных компонентов. В диссертации приведена номограмма материального баланса технологической системы центрифугирование – выпаривание для определения оптимального значения затрат и алгоритм её построения. График изменения затрат представляет собой параболоидную кривую, дно вогнутой части которой соответствует области минимальных затрат.

Для процесса тепловой стерилизации расфасованных томатопродуктов определены взаимосвязанные оптимальные температура и время стерилизации, значения которых определяются путём решения компромиссных задач. Также предложен способ стерилизовать наружный подслои маринованных томатов, поскольку во внутренней части томатов отсутствуют микроорганизмы, портящие продукт.

При оптимизации процесса сушки томатных семян определены оптимальные зоны изменения каждого из пяти параметров процесса исходя из анализов результатов компьютерного исследования математической модели процесса.

12. Разработаны алгоритмы расчетов уравнений моделей. Программная реализация алгоритмов выполнена применительно к современным ЭВМ. Получены зависимости входных и выходных параметров каждого из рассматриваемых процессов. Выработаны рекомендации по выбору оптимальных значений этих параметров.

13. Ряд параметров получен экспериментально. Кроме того, экспериментально исследованы процессы расщепления подкожного протопектина томатов, центрифугируемость пульпы, выпариваемость фугата, сушка томатных семян и установлены адекватности математических моделей реальным процессам, экспериментально определены температуры кипения томатной пульпы и фугата. Таким образом, обоснована достоверность выполненных теоретических выводов. Разработаны методики инженерного расчета процессов ИК-обработки целых томатов и пневмосушки томатных семян и выработаны решения по созданию соответствующих установок.

14. Изготовлены и установлены в цеху переработки сельхозпродуктов колхоза «Ташкент» (Ташкентская обл.) установки ИК-обработки томатов и установка пневмосушки томатных семян. На линии переработки томатной пульпы смонтирован сепаратор ОЦТ-500 для разделения пульпы, а также промышленная установка УВЭ-9 для электрохимической активации воды. Проведены испытания. По результатам испытаний сделаны важные выводы. Экономический эффект от внедрения установок с производительностью 500 тыс. условных банок за сезон колхоза «Ташкент» (Ташкентская обл.) составил 300 тыс. сумов по ценам 1994, 500 тыс. сумов по ценам 1995 г. Технология получения концентрированных томатопродуктов с технологической системой центрифугирование-выпаривание принята Болгарской фирмой "VENO" LTD по изготовлению модулей мини-заводов пищевой отрасли для внедрения, а также принят к внедрению предприятиями компании “Узплодовощвинпром-холдинг” для широкого внедрения по республике Узбекистан. Технологическая система центрифугирование-выпаривание для производства концентрированного

томатного сока внедрена на Газалкентском консервном заводе, технологическая схема сушки томатных и других семян, внедрена на производственной базе Узбекско-Турецкого торгово-производственного СП «Эл Кол» в г.Янгиюле. Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов работы составит более 476 млн сумов, а фактически полученный в 2005 г экономический эффект составил 46,9 млн сумов.

**Список опубликованных работ.  
Монографии и статьи, опубликованные  
в научных журналах и сборниках**

1. Додаев К.О. Научные основы интенсификации и аппаратурное оформление процессов переработки томатов. - Ташкент. Фан, 2005. -123 с.
2. Артиков А.А., Додаев К.О., Акбаров А.Х., Рустамов Б.Т. Анализ и синтез процессов переработки томатов. – Ташкент: Фан, 1997. – 105 с.
3. Q.O.Dodaev. Oziq - ovqat mahsulotlarini konservalashdagi texnologik hisoblar. - Toshkent: Fan, 2003. – 144 b.
4. Артиков А.А., Додаев К.О., Абдурахманов О.Р., Умарова Р.А. Моделирование и расчёт процессов центрифугирования жидкости из твёрдой фазы // Узбекский химический журнал. 1995. № 3. –С.58-61.
5. Додаев К.О., Артиков А.А., Акбаров А.Х. Низкотемпературная переработка томатопродуктов // Пищевая промышленность. 1996. №8. –С.66.
6. Додаев К.О., Артиков А.А., Акбаров А.Х., Маматкулов А.Х. Основы расчёта тепловых процессов при переработке томатопродуктов // Хранение и переработка сельхозсырья. 1996. №4. –С.11-13.
7. Додаев К.О., Артиков А.А., Акбаров А.Х., Маматкулов А.Х. Анализ и синтез процесса стерилизации фасованных соков // Хранение и переработка сельхозсырья. 1996. №5. –С.6-7.
8. Додаев К.О., Артиков А.А., Курбанов А.С. Активированная вода - средство для восстановления пищевых полуфабрикатов с неустойчивой кислотностью // Пищевая промышленность. 1996. № 12. –С.36-37.
9. Артиков А.А., Додаев К.О., Маматкулов А.Х. Системный анализ биотепломассообменных процессов переработки томатов // Узбекский химический журнал. 1996. №5-6. –С.71-74.
10. Артиков А.А., Додаев К.О., Маматкулов А.Х. Математическое моделирование процесса пневмосушки сыпучих материалов // Хранение и переработка сельхозсырья. 1997. №2. -С.32-33.
11. Додаев К.О.Рустамов Б.Т., Артиков А.А. Пневмоустановка для сушки томатных семян // Узбекский химический журнал. 1997. №2. –С.69-72.
12. Додаев К.О., Артиков А.А., Умарова Р.А. Оптимизация процесса центрифугирования пищевых суспензий // Хранение и переработка сельхозсырья. 1997. №7. –С.46-47.
13. Додаев К.О., Артиков А.А., Абдурахманов О.Р. Математическое моделирование и оптимизация процесса получения томат-пасты по схеме центрифугирование-выпаривание // Хранение и переработка сельхозсырья.

1997. №12. –С.10-12.

14. Додаев К.О., Отделение кожицы томатов от мякоти и переработка пульпы по схеме центрифугирование – выпаривание // Хранение и переработка сельхозсырья. 1997. №12. –С.59-60.

15. Додаев К.О., Артиков А.А., Акбаров А.Х. Оптимизация процесса стерилизации при переработке томатов // Известия ВУЗов. Серия «Пищевая технология». 1998. №1. –С.53-54.

16. Артиков А.А., Додаев К.О., Абдурахманов О.Р. Методика определения компонентов томатной пульпы при переработке томатов по схеме центрифугирование-выпаривание // Хранение и переработка сельхозсырья. 1998. №3. –С.55-56.

17. Додаев К.О., Рустамов Б.Т., Артиков А.А. Исследование математической модели и оптимизация процесса сушки томатных семян // Хранение и переработка сельхозсырья. 1999. №1. –С.11-13.

18. Додаев К.О. Теоретические основы и практические результаты исследования процессов переработки томатов // Олий ўқув юртлари ахбороти. Химия – биология фанлари. 2000. № 3. –С.11-19.

19. Додаев К.О. Пути снижения энергозатрат, сокращение потерь сырья и использование вторичного сырья при переработке томатов // Олий ўқув юртлари ахбороти. Химия – биология фанлари. 2001. № 1. -С.3-9.

20. Додаев К.О. Перспективы использования отходов при переработке томатов // Узбекский химический журнал. 2001. № 2. –С. 53-55.

21. Додаев К.О., Нигмонов Д.Х., Абдукадиров И.Т., Додаева Д.К., Наринбаев Б.Г., Иванова И.А. Исследование особенностей технологии переработки томатов по схеме центрифугирование-выпаривание // Хранение и переработка сельхозсырья. 2002. № 12. -С 24.

22. Джураев Х.Ф., Хикматов Д.Н., Додаев К.О., Рустамов Б.Т., Додаева Д.К. Исследование закономерностей сушки томатных семян // Пищевая промышленность. 2002. №11. –С.32-33.

#### **Авторские свидетельства и патенты на изобретения**

23. Патент № 953. Способ получения томат-пасты / Артиков А.А., Маматкулов А.Х., Додаев К.О., Сафаров А.Ф., Мехмонов И.И., Нарзиев М.С. - № 4927218; Заявлено 11.04.1991.

24. Патент № 1646. Способ получения томат-пасты и томат-паста полученная этим способом / Артиков А.А., Маматкулов А.Х., Додаев К.О., Нарзиев М.С., Мехмонов И.И., Жумаев К.К., Саидмуратов У.А., Абдурахманова М.И. - № 9400033; Заявлено 24.01.1991.

#### **Тезисы, депонированные научные работы и аннотации, опубликованные в научных журналах**

25. Артиков А.А., Додаев К.О., Акбаров А.Х. Системный анализ концентрирования на примере томатопродуктов // В кн. IV международная научная конференция «Методы кибернетики химико-технологических процессов». (КХТП-IV 94). Москва –1994. - С.15-16.

26. Артиков А.А., Додаев К.О., Маматкулов А.Х., Рустамов Б.Т. К вопросу моделирования процесса пневмосушки в вертикальных аппаратах // Тез. докл. III Минского международного форума. Том VIII/ Тепломассообмен в процессах сушки. – Минск, 1996. – С.133-136.

27. Халманбетов Д.К., Додаев К.О. Экспериментально-статическая модель и оптимизация процесса пневмосушки томатных семян // Сборник трудов международной научной конференции «Традиции и новации в культуре университетского образования». Часть III. – Бишкек, 1998. – С.167-172.

28. Додаев К.О., Артиков А.А., Абдурахманов О.Р., Халманбетов Д.К. Оптимизация получения томат-пасты по схеме центрифугирование-выпаривание // Сборник трудов XI международной конференции “Математические методы в химии и технологиях ММХТ-XI”. Том 3. Владимир. 1998. -С. 77.

29. Додаев К.О., Артиков А.А. Пути создания энергосберегающей технологии переработки растительного пищевого сырья на основе системного анализа // В кн. Ўзбекистон республикаси халқ хўжалиги тармоқларида ресурсларни ва энергияни тежаш муаммолари бўйича илмий-амалий конференция. Бухоро, 23-24 апрель, 1993 й. –С.87-89.

30. Додаев К.О., Рустамов Б.Т., Абдурахманов О.Р. Системный анализ процесса сушки коллоидно-дисперсных систем пищевого производства // В кн. Системный анализ, моделирование и управление сложными процессами и объектами на базе «ЭВМ» (Системный анализ 1993). Ташкент- 1993. - С.61.

31. Додаев К.О., Умарова Р.А., Абдурахманов О. Р. К вопросу моделирования процесса центрифугирования жидкости из твёрдой фазы // В кн. Системный анализ, моделирование и управление сложными процессами и объектами на базе «ЭВМ» (Системный анализ 1993). Ташкент-1993. - С.217.

32. Рустамов Б.Т., Артиков А.А., Додаев К.О. Многоступенчатая иерархическая структура процесса сушки плодовоовощных семян // В кн. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент. Ташкент, 28-30 ноября 1994 . - С.271.

33. Додаев К.О. Разработка технологической схемы низкотемпературной переработки томатопродуктов // В кн. Научно-теоретическая конференция профессоров, преподавателей научных работников и студентов ТашХТИ, Ташкент -1994. - С.55.

34. Зокиров Ф.Б., Додаев К.О., Рустамов Б.Т. Исследование сверхзвуковых частот для переработки отходов томатного производства // В кн. Научно-теоретическая конференция профессоров, преподавателей научных работников и студентов ТашХТИ, Ташкент - 1994. -С.210.

35. Додаев К.О., Артиков А.А., Акбаров А.Х. Способ консервирования пищевых продуктов на основе дезинфекции с применением активированных вод // В кн. Межгосударственный семинар по новым процессам и аппаратам промышленной технологии. Процессы-95. 1-2 июня 1995. Часть I, Бухара – 1995. -С.64.

36. Додаев К.О., Артиков А.А., Рустамов Б.Т. Лабораторное исследование процесса пневмосушки томатных семян // В кн. Межгосударственный

семинар по новым процессам и аппаратам промышленной технологии. Процессы-95. 1-2 июня 1995. Часть I, Бухара - 1995. -С.280.

37. Акбаров А.Х., Додаев К.О., Ортиқов А.О. Промышленные испытания нового способа стерилизации тары и томатопродуктов // В кн. Тошкент кимё-технология институти профессор, ўқитувчилари, аспирантлари ва илмий ходимларининг илмий-назарий ва техникавий конференциясининг баёнлари. Тошкент –1995. -С.16.

38. Додаев К.О. Повышенные качества и сбережение энергии при переработке томатопродуктов // В кн. Тошкент кимё-технология институти профессор, ўқитувчилари, аспирантлари ва илмий ходимларининг илмий-назарий ва техникавий конференциясининг баёнлари. Тошкент –1995. -С.48.

39. Зокиров Ф.Б., Акбаров А.Х., Додаев К.О. Применение активированной среды при переработке томатопродуктов // В кн. Тошкент кимё-технология институти профессор, ўқитувчилари, аспирантлари ва илмий ходимларининг илмий-назарий ва техникавий конференциясининг баёнлари. Тошкент –1995. -С.40.

40. Додаев К.О., Артиков А.А., Акбаров А.Х. Создание технологии получения импортзамещающей томатной продукции // В кн. Проблемы разработки химической технологии импортзамещаемой продукции в Узбекистане. 18-19 октября. Ташкент – 1995г. -С.196.

41. Додаев К.О., Артиков А.А., Акбаров А.Х. Создание технологии и техники для комплексной переработки томатов // В кн. Ўзбекистон республикаси «Фан ва ишлаб чиқариш» конференцияси тезислари. Чирчиқ – 1995. -51-52 б.

42. Додаев К.О. Результаты анализа и синтеза комплексной переработки томатов // Тошкент кимё-технология институти профессор ўқитувчилари, аспирантлари ва илмий ходимлари илмий-назарий ва техникавий конференциясининг баёнлари. Тошкент –1996. -148 б.

43. Қурбонов А.С., Ортиқов А.А., Додаев К.О. Активлаштирилган мухитларнинг хусусияти ва уларнинг консервалашда қўлланиши // Тошкент кимё-технология институти профессор ўқитувчилари, аспирантлари ва илмий ходимлари илмий-назарий ва техникавий конференциясининг баёнлари. Тошкент –1996. – 149 б.

44. Абдурахманов О.Р., Додаев К.О., Артиков А.А. Оптимизация процесса получения томат-пасты по схеме центрифугирование-выпаривание // Тошкент кимё-технология институти профессор ўқитувчилари, аспирантлари ва илмий ходимлари илмий-назарий ва техникавий конференциясининг баёнлари (7-11 апрель 1997 йил маърузалар матни). Тошкент –1997. -9 б.

45. Додаев К.О. К вопросу разработки низкотемпературных процессов производства томатопродуктов // Тошкент кимё-технология институти профессор ўқитувчилари, аспирантлари ва илмий ходимлари илмий-назарий ва техникавий конференциясининг баёнлари (7-11 апрель 1997 йил маърузалар матни). Тошкент –1997. - 29 б.

46. Додаев К.О., Ортиқов А.О. Теория и практика исследований процессов переработки томатов // В кн. «Кичик ва ўрта тадбиркорлик негизида



инновацион-технологик ривожланишнинг муаммо ва истикболлари» биринчи Республика илмий-амалий семинари мақолалари тўплами. «Камолот» нашриёти. Тошкент-1997. -36-39 б.

47. Додаев К.О., Артиков А.А., Абдурахманов О.Р., Ибрагимов А.И. Оптимизация получения томатной пасты по схеме центрифугирование-выпаривание // Сборник научных трудов республиканской научно-практической конференции «Рыночные реформы: состояние, проблемы и итоги. Бухара, 20-23 май, 1997. - С. 134-136.

48. Абдурахмонов О.Р., Додаев К.О., Бобоёров Р.А. Гидромеханическое разделение пищевых суспензий и его преимущества // «Жараён–2000» Республика илмий-амалий конференцияси илмий мақолалар тўплами. Бухоро-2000.-68-69 б.

49. Додаев К.О., Рустамов Б.Т. Перспективы переработки отходов томатного производства // IX Тошкент кимё-технология институти профессор-ўқитувчилари, аспирантлари, илмий ходимларининг илмий-назарий ва техникавий анжумани баёнлари. Тошкент –2000. -59 б.

50. Додаев К.О. Отделение кожицы томатов от мякоти при их переработке // IX Тошкент кимё-технология институти профессор-ўқитувчилари, аспирантлари, илмий ходимларининг илмий-назарий ва техникавий анжумани баёнлари. Тошкент –2000. -60 б.

51. Додаев К.О. Синтез низкотемпературных технологических систем безотходной переработки томатов // Доклады участников республиканской научно-технической конференции. Современные прогрессивные технологии пищевой технологии. Ташкент – 2000. -С. 23-26.

52. Додаев К.О., Артиков А.А., Рустамов Б.Т. Синтез оптимального процесса сушки томатных семян // Доклады участников республиканской научно-технической конференции. Современные прогрессивные технологии пищевой технологии. Ташкент – 2000. -С.112-115.

53. Додаев К.О., Абдуқодиров И.Т., Рахмонкулова Я.Т., Додаева Д.К. Экспериментальное исследование процессов получения концентратов плодов, овощей, бахчевых культур // Озиқ-овқат саноатида илғор технологиялар. Республика илмий-техника конференцияси. 11-12 декабрь 2001. Тошкент, ТошКТИ. 2002. -58-60 б.

54. Жураев Х.Ф., Додаев К.О., Сафаров О.Ф., Чориев А.Ж., Рустамов Б.Т. Методология сушки сельхозпродуктов и их отходов // Озиқ-овқат саноатида илғор технологиялар. Республика илмий-техника конференцияси. 11-12 декабрь 2001. Тошкент, ТошКТИ. 2002. -96-99 б.

55. Додаев К.О., Джураев Х.Ф., Абдурахманов О.Р. Состояние переработки сельскохозяйственного сырья, приоритетный ассортимент продукции и направление развития отрасли // Озиқ-овқат саноатида илғор технологиялар. Республика илмий-техника конференцияси. 11-12 декабрь 2001. Тошкент, ТошКТИ. 2002. - 163-166 б.

56. Додаев К.О. Состояние переработки и перспективные направления экспорта сельхозпродуктов Республики Узбекистан // В кн.: Экспорт плодоовощной продукции дехканских и фермерских хозяйств в Узбекистане: достигнутые результаты и перспективы развития. ТГУЭ. Ташкент – 2002. -С. 131-136.

57. Додаев К.О., Абдурахманов О.Р., Рустамов Б.Т., Додаева Д.Қ. Низкотемпературный способ переработки томатов // Сунъий совуқ муаммолари ва истиқболлари. Республика илмий-техника анжуманининг асарлари тўпламида. Тошкент – 2002. - 32-35 б.

58. Мухаммадқодиров Қ.Т., Додаев Қ.О. «Томат эти» ва «Тиндирилган томат шарбати концентрати» асосида томат махсулотларини яратиш // ТКТИ магистратура талабалари илмий техник анжумани мақолалари тўплами. ТКТИ – 2003, I том, 166 б.

59. Саъдиев М.М., Додаев Қ.О. Тиндирилган этсиз томат шарбатини қуюлтириш технологиясини яратиш // ТКТИ магистратура талабалари илмий техник анжумани мақолалари тўплами. ТКТИ – 2003, I том, 203 б.

60. Собиржанова Н.М., Додаев К.О. Исследование путей использования активированных вод при переработке томатов // Труды научно-технической конференции магистрантов. Ташкент.: ТХТИ-2003. Том 2. –С. 125-127.

61. Сабирджанова Н.М., Додаев К.О., Курбанов Ф.К. Применение активированной воды при переработке томатов // Труды научно-технической конференции магистрантов ТХТИ-2004. Ташкент - 2004. С. 208-210.

62. Додаев К.О., Максумова Д.К. Перспективные направления экспорта переработанной сельхозпродукции Республики Узбекистан // «Иқтисодиётни эркинлаштириш шароитида қишлоқ хўжалиги махсулотлари бозорини шакллантириш муаммолари» мавзусидаги илмий-амалий конференция маърузалар тўплами. Тошкент.: БИИТИ, 12-13 ноябрь, 2004. –135-137б.

## Резюме

диссертации **Додаева К.О.** на тему **«Развитие научных основ интенсификации тепломассообменных процессов переработки томатов»** на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности **05.18.12 – «Процессы, машины и агрегаты пищевой промышленности»**.

**Ключевые слова:** томат, тепломассообмен, процесс, математическая модель, оптимизация, системный анализ, технологическая система, пульпа, выпаривание, центробежная сила, томатные семена, стерилизация, центрифуга, фугат, томат-паста, дезинфекция, активированная вода, установка ИК-излучения, мякиш томатов, сок, температура кипения.

**Объекты исследования:** В диссертационной работе рассматривается проблема комплексной переработки томатов. Основное внимание уделено концептуальной задаче – разработке стратегии обеспечения условий сокращения различными приёмами сопротивлений интенсивному удалению влаги с поверхности жидкостной неоднородной или сыпучей системы, а также проникновению тепла вглубь пищевого продукта.

**Цель работы:** Развитие научных основ интенсификации процессов получения томатопродуктов, путем математического моделирования и оптимизации процессов и создание высокоэффективной технологии и аппаратуры.

**Метод исследования:** Математическое моделирование. Получение математических описаний объектов исследований, алгоритмизация и программное обеспечение, компьютерное исследование, экспериментальная проверка адекватности математических описаний реальным процессам, оптимизация процессов.

**Полученные результаты и их новизна:** Полученные результаты и их новизна заключается в следующем:

- выдвинута концептуальная стратегия обеспечения условий сокращения различными приёмами сопротивлений интенсивному удалению влаги с поверхности жидкостной неоднородной или сыпучей системы, а также проникновения тепла вглубь продукта;

- сформулированы принципы обеспечения условий интенсификации процессов концентрирования пищевых растворов, распределения температуры во времени по геометрическим координатам в дискретно-изолированных изделиях, размещенных среди источника тепла, а также десорбции влаги из сыпучего материала в условиях совместного с рабочим агентом транспорта в пневмотрубе с дополнительным подводом энергии, при переработке сельскохозяйственной продукции, отличающихся применением теории и методов построения математических аппаратов ТМО процессов на основе структурно-системного анализа процессов на различных уровнях иерархии;

- получены теоретические результаты, способствующие развитию науки о процессах и аппаратах пищевой технологии, пригодные при исследовании аналогичных процессов пищевой технологии;

- разработаны и подготовлены экспериментальные, методически обоснованные установки для получения аналитико-экспериментальных

математических описаний исследуемых процессов и установления их адекватности реальным процессам;

- предложена ИК-обработка томатов целых взамен подогрева дробленой массы в трубчатых аппаратах, система центрифугирование-выпаривание (Ц-В) для концентрирования, сушки семян в обогреваемой ИК-лучами пневмоустановке, способы стерилизации тары и готовой продукции;

- предложены математические модели верхних уровней иерархии для системы концентрирования по схеме Ц-В, отражающие количественную и качественную сущность разделения в поле центробежных сил и выпаривания фугата;

- экспериментально найден оптимальный режим ИК-обработки томатов для их освобождения от кожицы, исследованы процессы центрифугирования томатной пульпы и выпаривания фугата в зависимости от входных параметров, таких как начальные концентрации сухих водорастворимых (Р), не растворимых (НР) компонентов, их соотношение, значение вакуума в аппарате, заданная концентрация томат-пасты и т.д.; получен профиль температуры по времени для заданной температуры стерилизации в периодических автоклавах; исследовано влияние температуры рабочего агента, начальной влаги, соотношения расходов томатных семян и воздуха, плотности теплового потока, на протекание процесса сушки томатных семян. Путем получения статистической математической модели определены оптимальные значения факторов, влияющих на процесс сушки томатных семян;

- получена номограмма для концентрирования пищевых растворов в технологической системе Ц-В, разработана методика двухуровневой оптимизации процесса сушки сыпучего материала.

**Практическая значимость:** Практическая значимость результатов исследования диссертационной работы заключается в следующем:

- программное обеспечение полученных аналитико-экспериментальных моделей пригодно для исследования аналогичных ТМО процессов;

- выявлены оптимальные параметры при переработке томатов в предлагаемой линии;

- установка для пневмосушки семян включена в технологическую линию переработки томатов, использовано кратковременное электрофизическое воздействие, обоснован выбор рациональных режимных параметров процесса;

- разработана методика расчета гидромеханического процесса – разделения пульпы в поле центробежных сил, выпаривания фугата в двухкорпусном аппарате, ТМО процессов сушки томатных семян, исследованы режимы эксплуатации эффективных установок;

- разработаны алгоритмы и программы расчетов гидромеханического и ТМО процессов.

**Степень внедрения и экономическая эффективность:** Разработанная схема установки фракционированной переработки томатной пульпы, сушка томатных семян, использование активированной воды при стерилизации тары и оборудования внедрены и прошли промышленные испытания в цехе переработки сельхозпродуктов колхоза «Ташкент» (Ташкентская область).

Технологическая система центрифугирование-выпаривание для производства концентрированного томатного сока внедрена на Газалкентском консервном заводе. Технологическая схема сушки томатных и других семян внедрена на производственной базе Узбекско-Турецкого торгово-производственного СП «Эл Кол» в г. Янгиюле.

Экономический эффект накапливается за счет:

- снижения потерь и увеличения концентрации конечного продукта;
- уменьшения затрат энергии на единицу готовой продукции;
- повышения пищевой ценности готовой продукции в результате снижения воздействия высокой температуры, сохранения биологически ценных компонентов: витаминов, микроэлементов и т. д.;
- превращения в промышленное сырьё томатных семян;
- упрощения конструкции оборудования и управляемости линии.

**Область применения:** Консервная промышленность.

**Қ. О. Додаевнинг «Томатни қайта ишлашдаги иссиқлик ва масса алмашинув жараёнларини жадаллаштиришнинг илмий асосларини ривожлантириш»** мавзусидаги **05.18.12 – «Озиқ-овқат саноати жараёнлари, машина ва агрегатлари»** мутахассислиги бўйича техника фанлари доктори илмий даражасини олишга тақдим этилган диссертация ишининг

### **р е з ю м е с и**

**Таянч (энг муҳим) сўзлар:** томат, модда алмашинув, пулпа, жараён, математик модел, оптималлаштириш, тизимли таҳлил, технологик система, буғлатиш, томат уруғи, стерилизация, центрифуга, фугат, томат-паста, дезинфекция, активлаштирилган сув, ИҚ-нурлатгич қурилмасида, томат эти, шарбат, қайнаш ҳарорати.

**Тадқиқот объектлари:** Диссертация иши томатни комплекс қайта ишлашга йўналтирилган. Асосий диққат намликнинг озиқ-овқат эритмалари ва сочилувчан системалар таркибидан буғланиши, иссиқликнинг маҳсулот ичкари қатламларига кириш жараёнларининг жадал кетишига бўлган қаршиликларни қисқартириш муаммосига қаратилган.

**Ишнинг мақсади:** Математик моделлаштириш ва оптималлаштириш йўли билан томат маҳсулотлари ишлаб чиқариш жараёнларини жадаллаштиришнинг илмий асосларини шакллантириш, юқори самарали технология ва аппаратлар яратиш.

**Тадқиқот усули:** Математик моделлаштириш. Тадқиқот объектнинг математик кўринишини олиш, алгоритм ва дастур тузиш, компьютерда тадқиқ этиш, математик кўринишнинг реал жараёнга адекватлигини тажриба йўли билан текшириш, жараённи оптималлаштириш.

**Олинган натижалар ва уларнинг янгиликлари:** Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги қуйидагилардан иборат:

- намликнинг озиқ-овқат эритмалари ва сочилувчан системалар таркибидан буғланиши, ҳамда иссиқликнинг маҳсулот ичкари қатламларига кириш жараёнларининг жадал кетишига бўлган қаршиликларни турли йўллар билан қисқартириш концептуал стратегияси тақлиф этилган;

- қишлоқ хўжалик хом ашёсини қайта ишлашда озиқ-овқат эритмаларини қуюлтириш, муҳит ўртасида жойлаштирилган дискрет-ажратилган объектларда иссиқлик тарқалиши, ҳамда қўшимча иссиқлик манбаига эга пневмокувурда ишчи агент билан бирга ташилаётган сочилувчан материал таркибидан намлик десорбцияланиши жараёнларини ИМА жараёнлари математик аппаратини яратиш назария ва усуллар қўллаш билан фарқ қилувчи жадал шароитини яратиш принциплари жараённинг турли иерархик поғоналардаги таркибий-тизимли таҳлили асосида ишлаб чиқилган.

- озиқ-овқат технологияси жараён ва аппаратлари тўғрисидаги фан ривожига ҳисса қўшувчи, ўхшаш жараёнларни тадқиқ этишда қўл келувчи назарий натижалар олинган;

- тадқиқ этилаётган жараёнларнинг аналитик-экспериментал математик кўринишларини олиш учун услубий таъминланган экспериментал қурилмалар ишлаб чиқилган ва тайёрланган;

- майдаланган томатга кувурли аппаратдаги иссиқлик ишлови ўрнига ИҚ нурлар билан ишлов бериш усули, концентрлаш учун центрифугалаш-буғлатиш (Ц-Б) тизими, томат уруғини пневмоқурилмада ИҚ нурлар билан иситилувчи қуритиш усули, тара ва тайёр маҳсулотни стериллаш усуллари тақлиф этилган;

- Ц-Б тизими учун марказдан қочма куч майдонида ажратиш ва фугатни қуйилтириш жараёнларининг моҳиятини ифодаловчи иерархик таркибнинг юқори

поғоналаридаги математик моделлари таклиф этилган;

- тажриба йўли билан томат пўстлогини этсизлантириб ажратиш учун унга ИҚ нур билан ишлов бериш режими топилган, эрувчан ва ноэрувчан куруқ модда миқдори, уларнинг нисбати, аппаратдаги вакуум миқдори, чиқаётган маҳсулот концентрациясига боғлиқ ҳолда пулпани центрифугалаш ва фугатни буғлатиш жараёнлари тадқиқ этилган; даврий автоклавларда берилган стерилизация ҳарорати учун вақт бирлигида ҳарорат ўзгариши профили олинган; томат уруғини қуритиш жараёнига ишчи агент ҳарорати, бошланғич намлик, уруғ ва ишчи агент сарф нисбати, иссиқлик оқими зичлиги таъсири ўрганилган. Статистик математик модель олиш йўли билан томат уруғини қуритиш жараёнига таъсир этувчи омилларнинг оқилона қиймати топилган;

- Ц-Б технологик тизимида озиқ-овқат эритмаларини қуйилтириш учун номограмма олинган, томат уруғини қуритиш жараёнининг икки поғонали оптималлаштириш услуби ишлаб чиқилган.

**Амалий аҳамияти:** Диссертация иши натижаларининг амалий аҳамияти қуйидагилардан иборат:

- олинган аналитик-экспериментал моделларнинг дастур қисми ўхшаш ИМА жараёнларини тадқиқ этиш учун яроқли;

- таклиф этилаётган линияда томатни қайта ишлаш учун оптимал параметрлар топилган;

- томат уруғини қуритиш учун таклиф этилган қурилма томатни қайта ишлаш линиясига киритилган, қисқа муддатли электрофизик таъсир қўлланилган, режим параметрларини оқилона танлаш асосланган;

- томат пулпасини марказдан қочма куч майдонида ажратиш – гидромеханик жараёни, фугатни икки корпусли аппаратда буғлатиш, томат уруғини қуритишнинг ИМА жараёнларини ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган, самарали қурилмаларни қўллаш режимлари тадқиқ этилган;

- гидромеханик ва ИМА жараёнларини ҳисоблаш алгоритм ва дастурлари ишлаб чиқилган.

**Тадбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги:** Томат пульпасини центрифугалаб фракцияларга ажратиб қайта ишлаш, томат уруғини қуритиш, ва фаоллаштирилган сувларни тарани ювиш ва ярим тайёр маҳсулот (ЯТМ) кислоталилигини бошқаришда қўллаш учун ишлаб чиқилган схема ишлаб чиқаришда қўлланган ва саноат шароитида «Тошкент» жамоа хўжалигининг қишлоқ хўжалик хом ашёсини қайта ишлаш цехида синовдан ўтказилди.

Ғазалкент консерва заводида центрифугалаш-буғлатиш системасида қуюлтирилган томат шарбати ишлаб чиқариш усули жорий этилди, «Эл Кол» Ўзбек-Турк савдо-ишлаб чиқариш қўшма корхонасининг Янгийўл шаҳридаги «Арома Осие» корхонасида томат, мева ва сабзаёт уруғини қуритиш технологик линияси жорий этилди.

Иқтисодий самарадорлик қуйидагилар ҳисобига ҳосил бўлади:

- йўқотишларни камайтириш ва тайёр маҳсулот концентрациясини ошириш;
- тайёр маҳсулот бирлигига сарфланган энергия миқдори камайтириш;
- ЯТМ -га юқори ҳарорат таъсири камайтгани туфайли тайёр маҳсулотнинг озуқавий қиммати ошиши, биологик нодир компонентлар сақланиши;
- томат уруғини саноат хом ашёсига айлантириш;
- ускуналар конструкциясини соддалашиши ва бошқариш осонлашиши.

**Қўллаш (фойдаланиш) соҳаси:** Консерва саноати.

## S U M M A R Y

of the dissertation of **K.O.Dodaev** on the theme: **“The development scientific principles intensification heat-mass-changing of process of elaborated tomatoes”** submitted for competition for doctorate of technical sciences speciality **05.18.12** – **“Processes, machines and aggregates of food industry”**.

**Key words:** a tomato, process, mathematical model, optimization, the system analysis, technological system, a pulp, evaporation, centrifugal force, tomato seeds, sterilization, a centrifuge, fugate, tomato - paste, the disinfection, the activated water, installation of IR-radiation, juice, temperature of boiling.

**Subjects of the inquiry:** Dissertational work is directed on the decision of a problem of creation of theoretical bases of complex processing of tomatoes. The basic attention is given to a problem (task) - to modeling and optimization bioprocesses and hot processes of food technology.

**Aim of the inquiry:** Development of scientific bases of an intensification of processes of reception tomato product's, by mathematical modeling and optimization of processes and creation of highly effective technology and the equipment.

**Method of inquiry:** Mathematical modeling. Reception of the mathematical description of object of research, algorithmization and the software, computer research, experimental check of adequacy of the mathematical description to real process, optimization of process.

**The results achieved and their novelty:** The received results and their novelty of work consists in the following:

- theoretical bases of intensification HMR of processes of processing agrecultural products on an example tomato products, including the structural - system analysis of processes at various levels of hierarchy and use of methods of mathematical modeling are developed;

- the theoretical results promoting development of a science about processes and devices of food technology, suitable are received at research of similar processes of food technology;

- the experimental, methodically proved installations for reception of analytical and experimental mathematical descriptions of researched processes and establishments of their adequacy to real processes are developed and prepared;

- ways of sterilization of container and finished goods are offered by IR-processing of tomatoes of the whole in exchange hoting mixed weights in tubular devices, system centrifugation-evaporation (S-E) for consentrated, drying of seeds in warmed with IR-beams pnevmomashin;

- mathematical models of the top levels of hierarchy for system consentrated under circuit S-E, reflecting quantitative and qualitative essence of division in a field of centrifugal forces and evaporation fugate are offered;

- the optimum mode of IR-processing of tomatoes for their clearing of a thin skin is experimentally found, processes centrifugation a tomato pulp and evaporation fugate are investigated depending on entrance parameters, such as initial concentration dry water-soluble (S), not soluble (NS) components, their parity ratio, value of vacuum in the device, the set concentration of tomato - paste, etc.; the structure of temperature on time for the set temperature of sterilization in periodic



autoclaves is received; influence of temperature of the working agent, an initial moisture, a parity ratio of charges of tomato seeds and air, density of a thermal stream, on course of process of drying of tomato seeds is investigated. By reception of statistical mathematical model optimum values of the factors influencing process of drying of tomato seeds are determined;

- it is received nomogram for concentrated food solutions in technological system S-E, the technique of two-level optimization of process of drying of a loose material is developed.

**Practical value:** the practical importance of results of research of dissertational work consists in the following:

- the software of the received analytic and experimental models it is suitable for research similar HMR processes;

- optimum parameters are revealed at processing tomatoes in an offered (a suggested) line;

- installation for pneumo drying seeds is included in a technological line of processing of tomatoes, short-term electro physical influence is used, the choice of rational regime parameters of process is proved;

- the design procedure of hydromechanical process - divisions of a pulp in a field of centrifugal forces, evaporation fugate in the two-case device, HMR processes of drying of tomato seeds is developed, are investigated modes of exploitation of effective installations;

- algorithms and programs of calculation hydromechanical and HMR processes are developed.

**Degree of embed and economical effectivity:** the developed circuit of installation tritment a tomato pulp, drying of tomato seeds, use of the activated water at sterilization of container and the equipment are introduced and have passed industrial tests in shop of processing agrecultural products collective farm "Tashkent" (the Tashkent area). The centrifugal-evaporation technological scheme for production the concentrated tomato juice realized on the Gazalkent's canned plant. The technological scheme of drying tomato seed, and for example, seed's fruit's of apple, pomegranate and the groundotype product's realized on the production line of the Uzbek-Turkey trading-production firm "El Kol".

Economic benefit collects for the account:

- decrease in losses and increases in concentration of an end-product;
- reduction of expenses of energy by unit of finished goods;
- increases of food value of finished goods as a result of decrease in influence of high temperature, preservation of biologically valuable components: vitamins, microcells, etc.;

- transformations into industrial raw material of tomato seeds;

- simplifications of a design of the equipment and controllability of a line.

**Sphere of usage:** the canning industry.

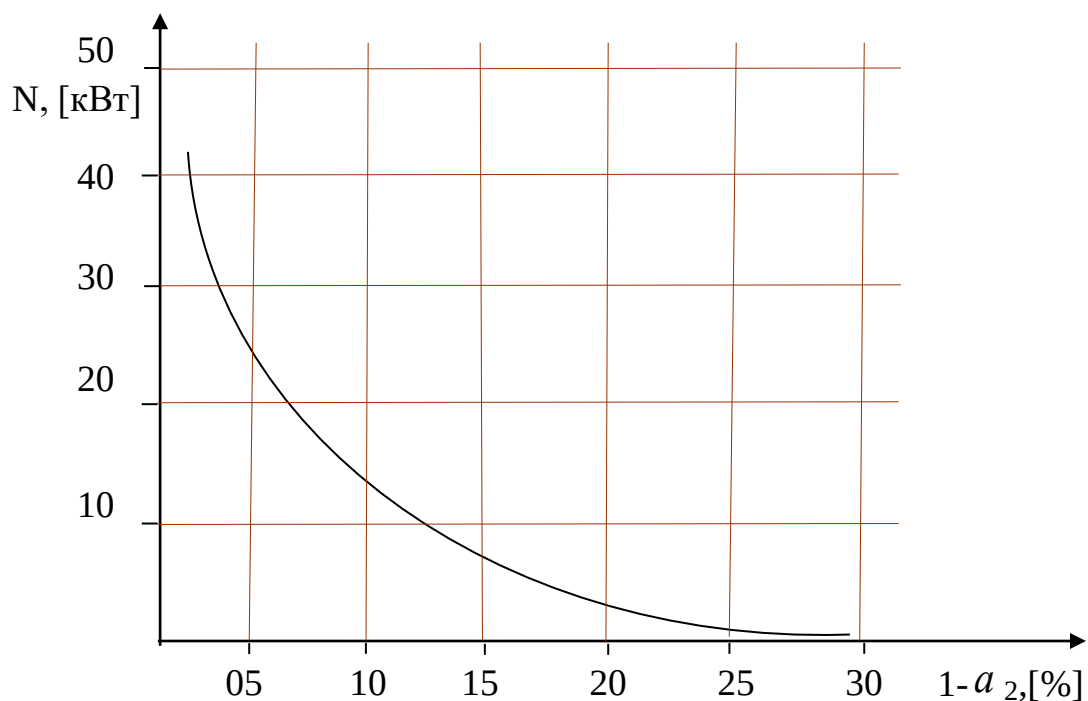


Рис 1. Зависимость затрачиваемой мощности на центрифугирование пульпы от концентрации целевого продукта.

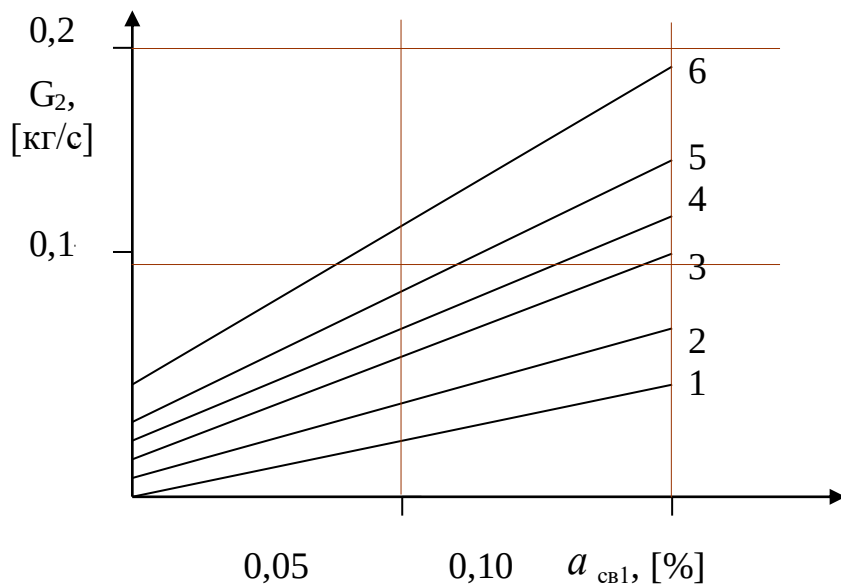


Рис. 2. Зависимость выхода 30%-ной густой массы от концентрации сухих веществ в томатной пульпе при: 1- $a_{\text{св3в}}=0,015$ ; 2- $a_{\text{св3в}}=0,021$ ; 3- $a_{\text{св3в}}=0,025$ ; 4- $a_{\text{св3в}}=0,032$ ; 5- $a_{\text{св3в}}=0,038$ ; 6- $a_{\text{св3в}}=0,043$ .

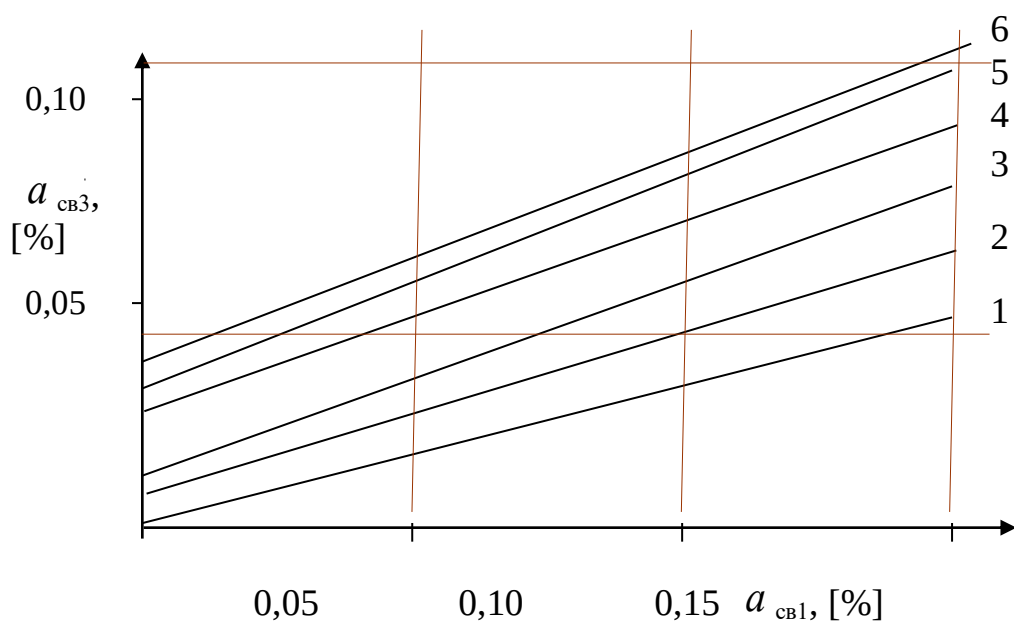


Рис.3. Зависимость концентрации сухих веществ в фугате от концентрации сухих веществ в томатной пульпе при: 1- $G_2=0,072$ ; 2- $G_2=0,097$ ; 3- $G_2=0,123$ ; 4- $G_2=0,150$ ; 5- $G_2=0,178$ ; 6- $G_2=0,206$ .

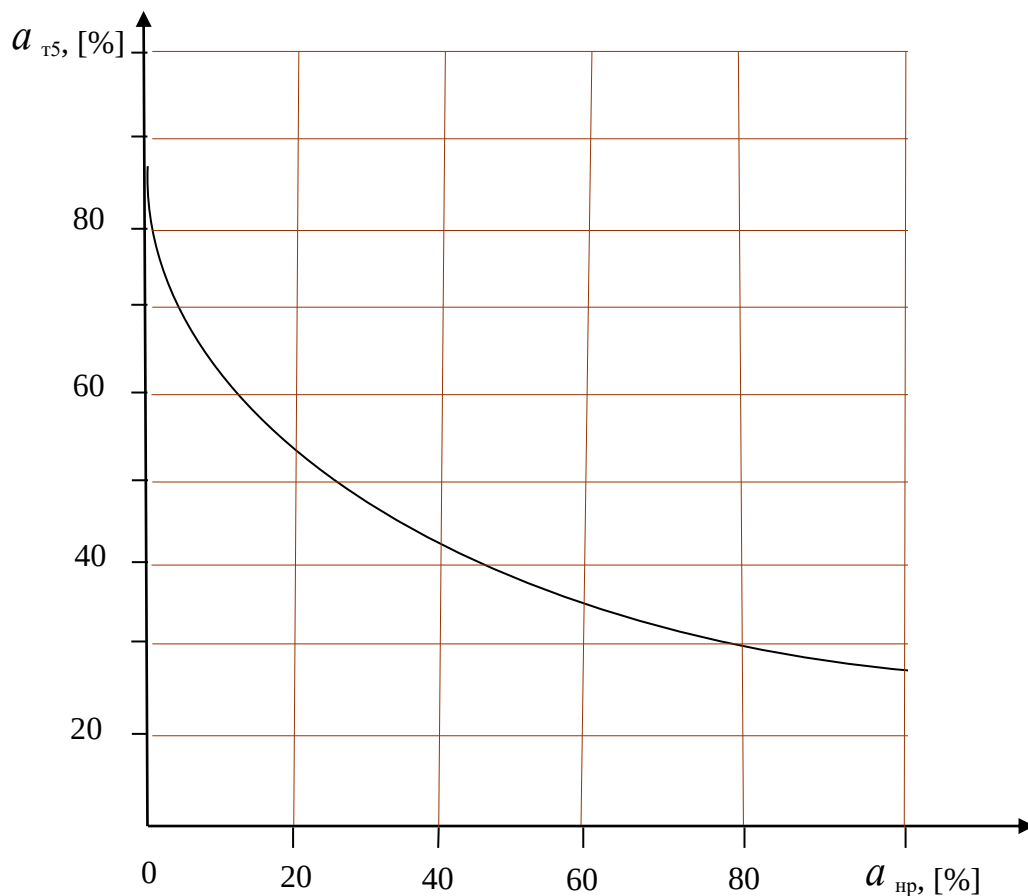


Рис. 4. Теоретическая кривая выпариваемости томатной пульпы в зависимости от содержания сухих нерастворимых веществ.

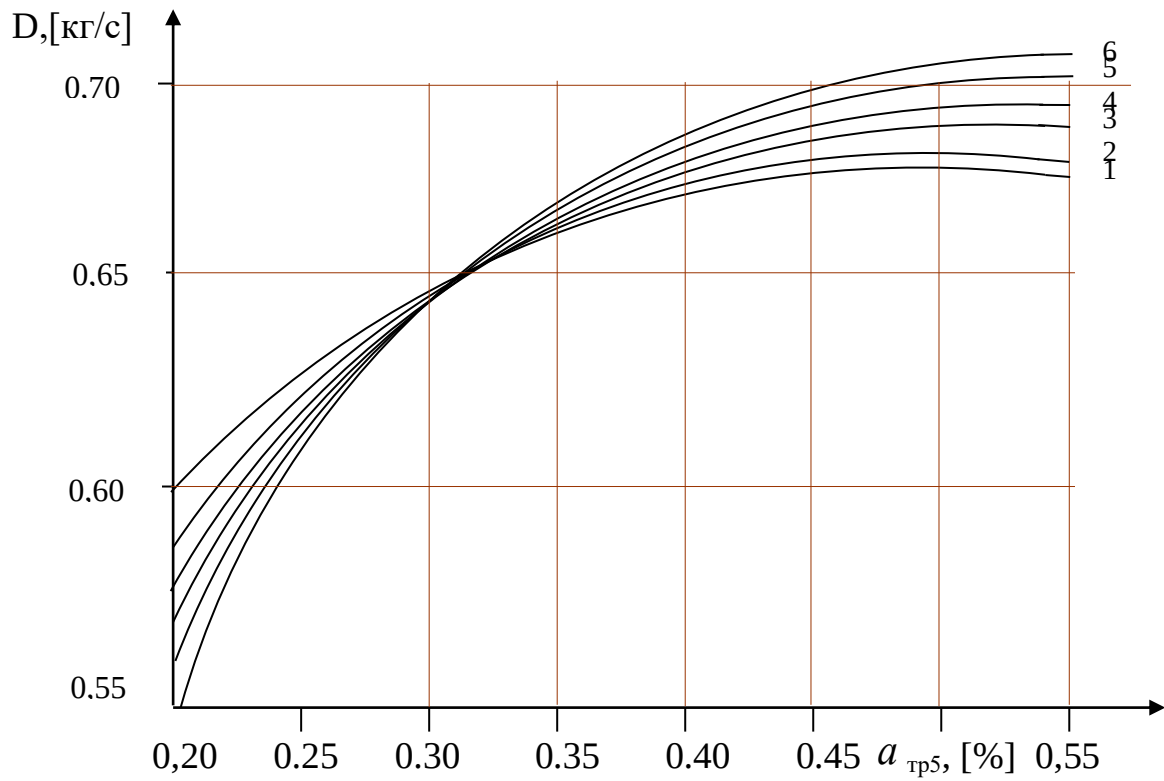


Рис. 5. а) изменение расхода греющего пара в зависимости от концентрации конечного продукта при: 1-  $a_{tr3}=0,033$ ; 2-  $a_{tr3}=0,037$ ; 3-  $a_{tr3}=0,042$ ; 4-  $a_{tr3}=0,046$ ; 5-  $a_{tr3}=0,051$ ; 6-  $a_{tr3}=0,055$ .

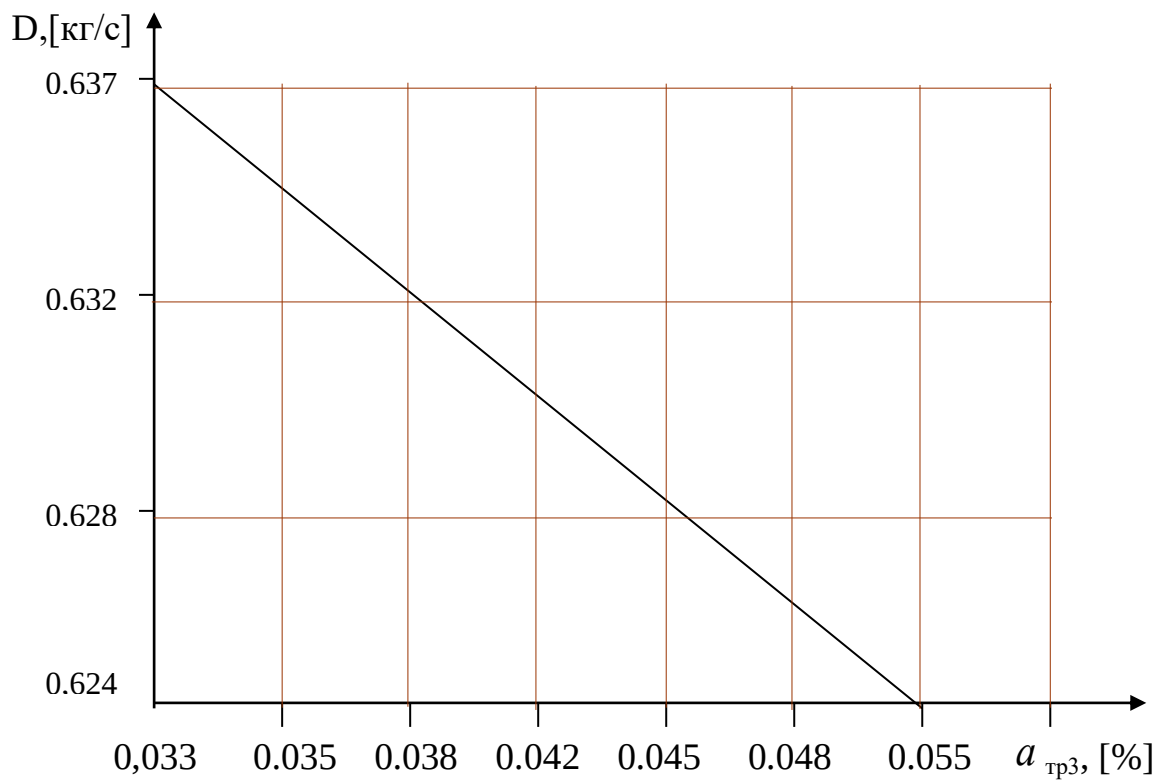


Рис. 5. б) зависимость расхода греющего пара от концентрации сухих веществ  $a_{tr3}$  в фугате.

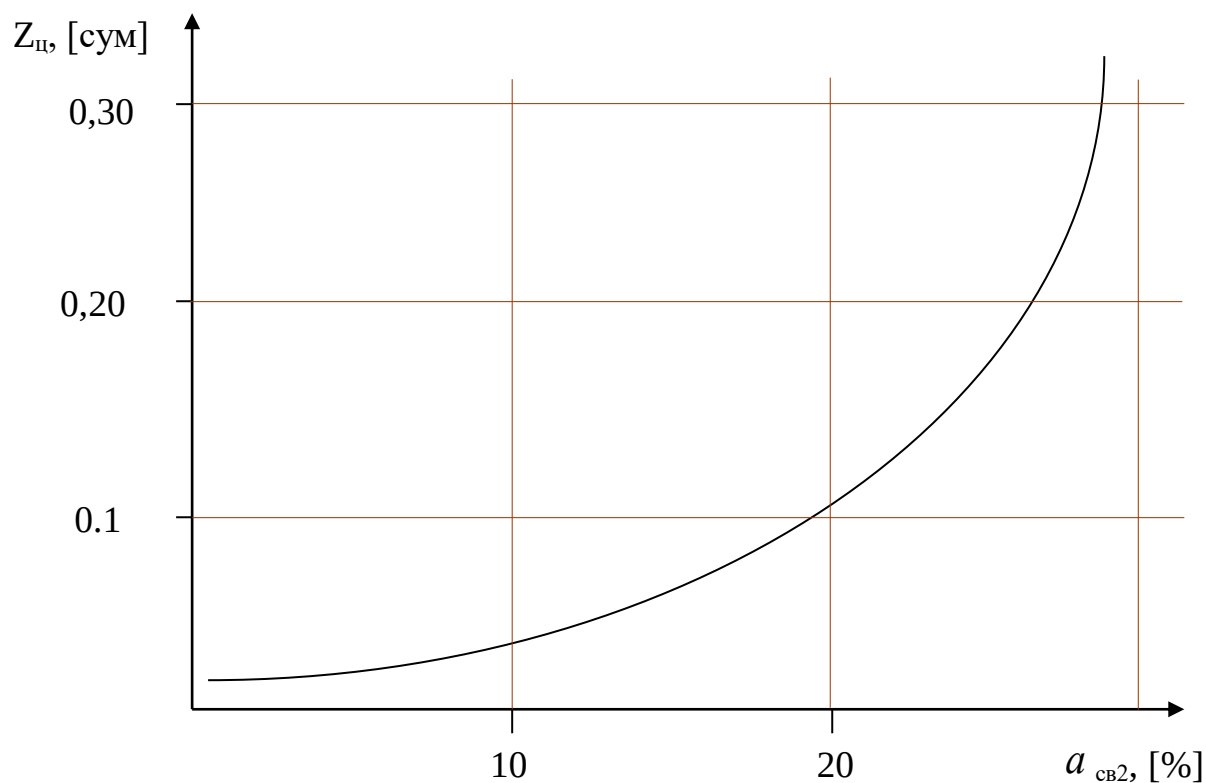


Рис. 6. а) зависимость затрат центрифугирования от концентрации густой массы по воде .

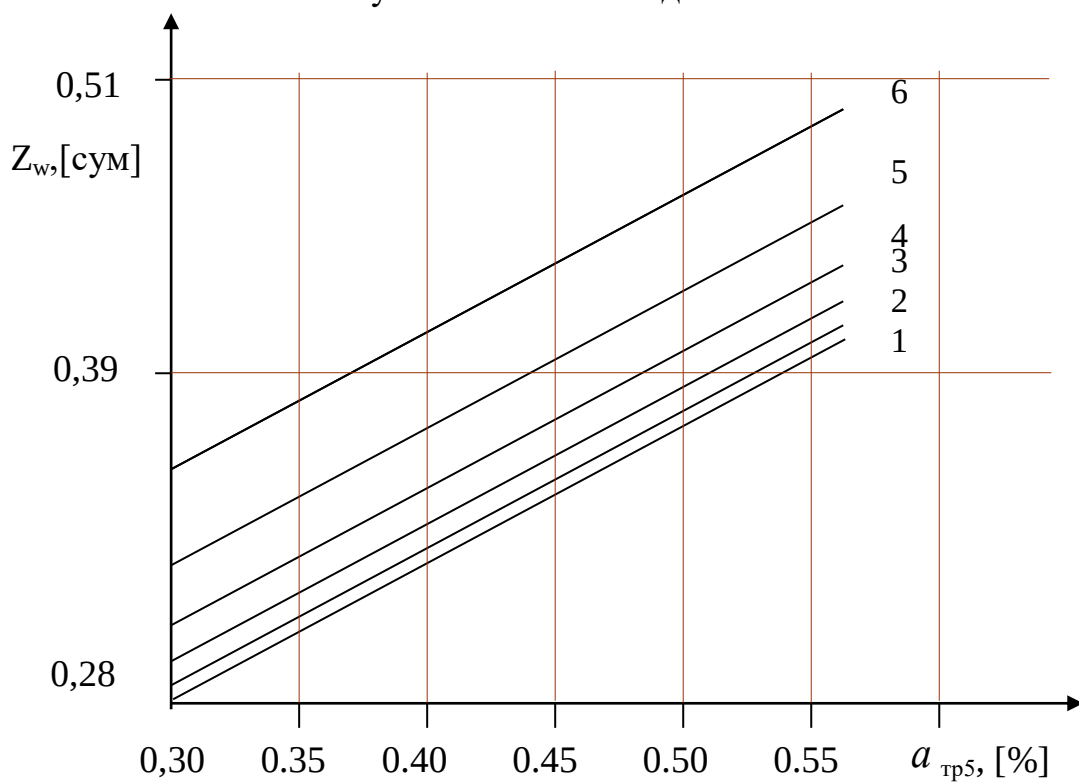


Рис. 6.б) зависимость затрат на создание вакуума от концентрации томат-пасты, получаемой выпариванием для: 1-  $a_{к}=25\%$ ; 2-  $a_{к}=30\%$ ; 3-  $a_{к}=35\%$ ; 4-  $a_{к}=40\%$ ; 5-  $a_{к}=45\%$ ; 6-  $a_{к}=50\%$ .

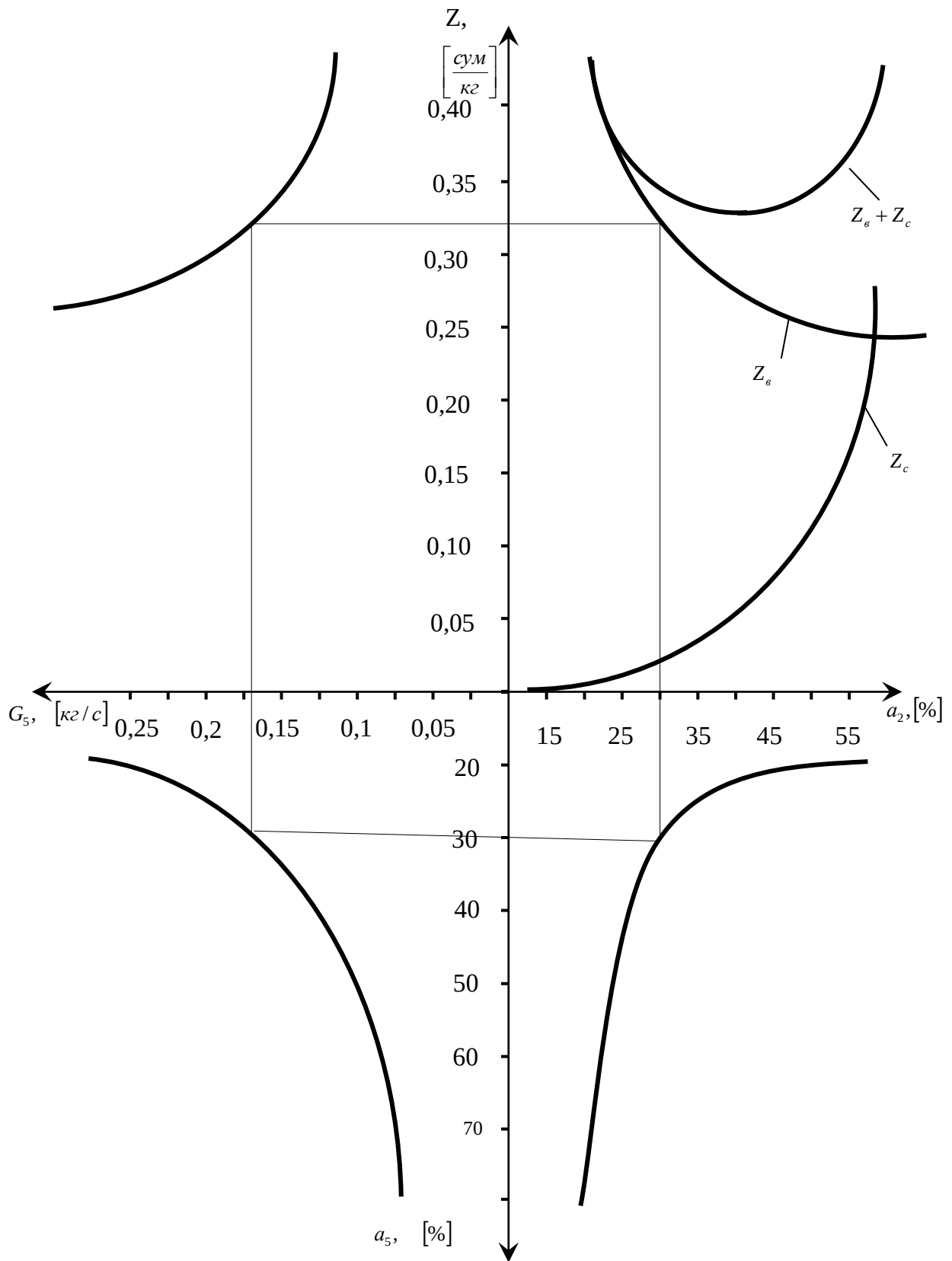


Рис. 7. Номограмма материального баланса технологической системы центрифугирование – выпаривание для определения оптимального значения затрат.

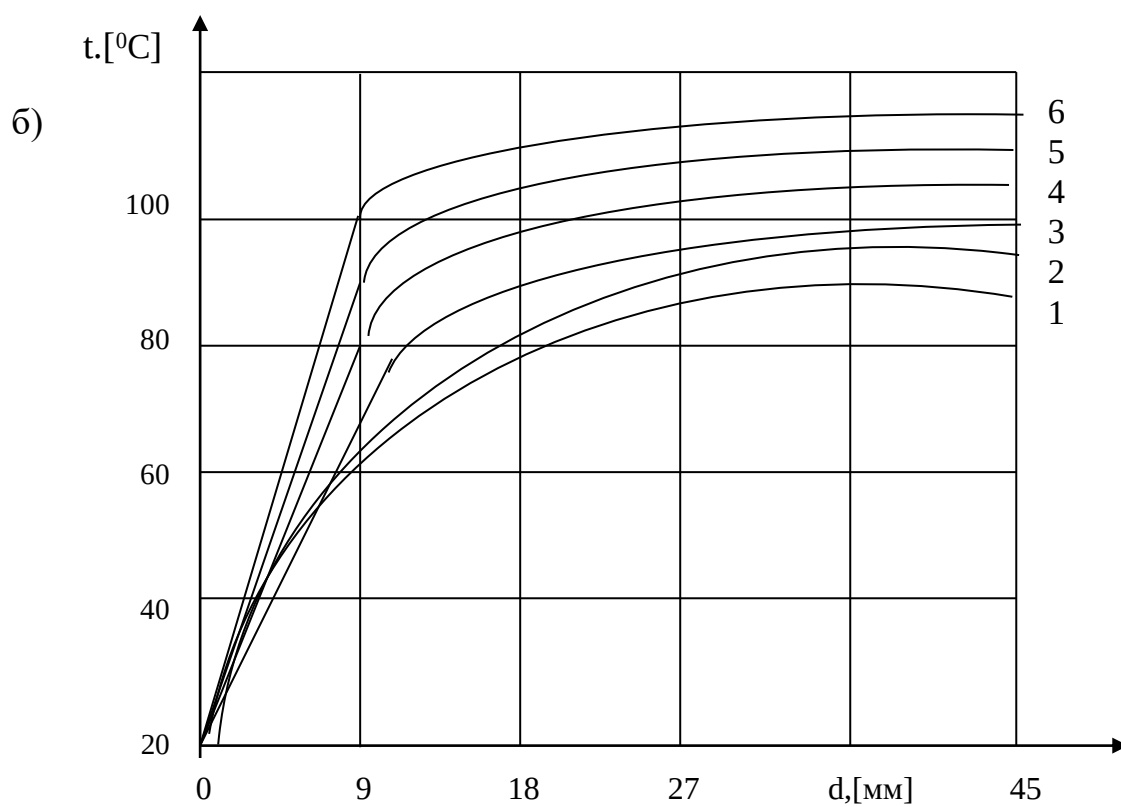
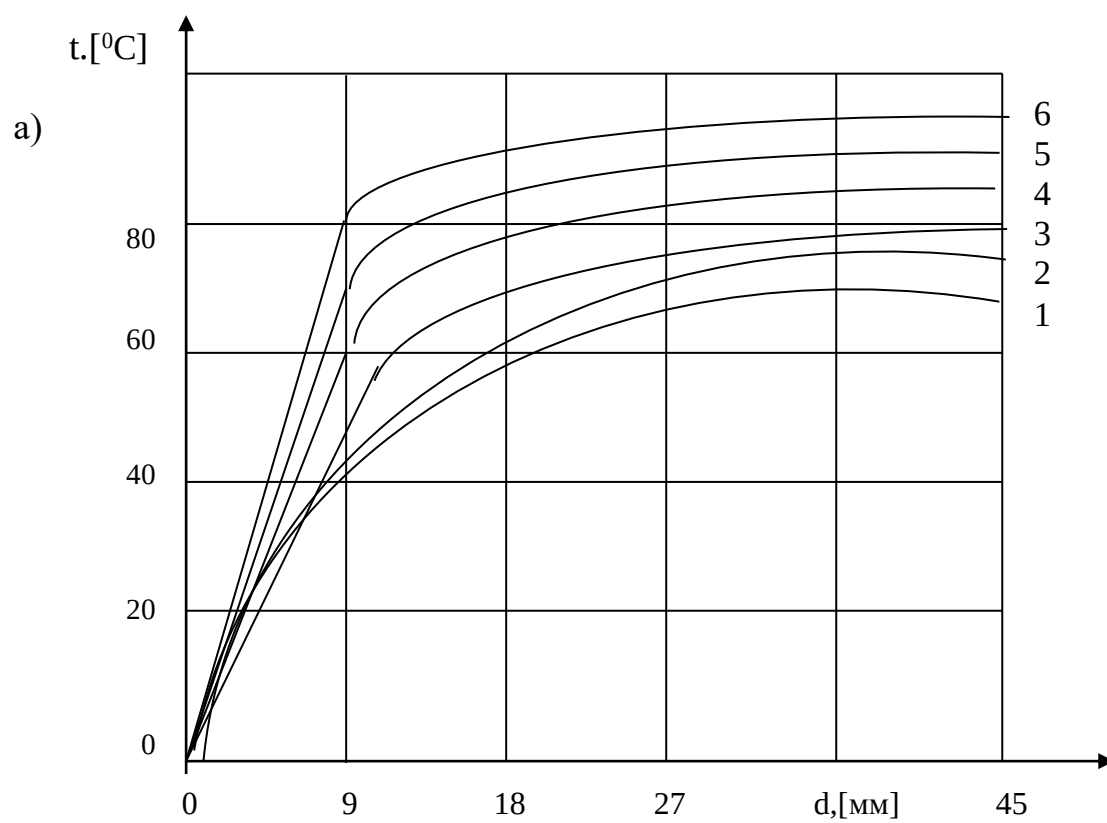


Рис. 8. Распределение температуры по 6-ти подслоям  
цельноконсервированного томата при:  
а) температуре среды в автоклаве  $T_a = 100^{\circ}\text{C}$   
б) температуре среды в автоклаве  $T_a = 120^{\circ}\text{C}$ .

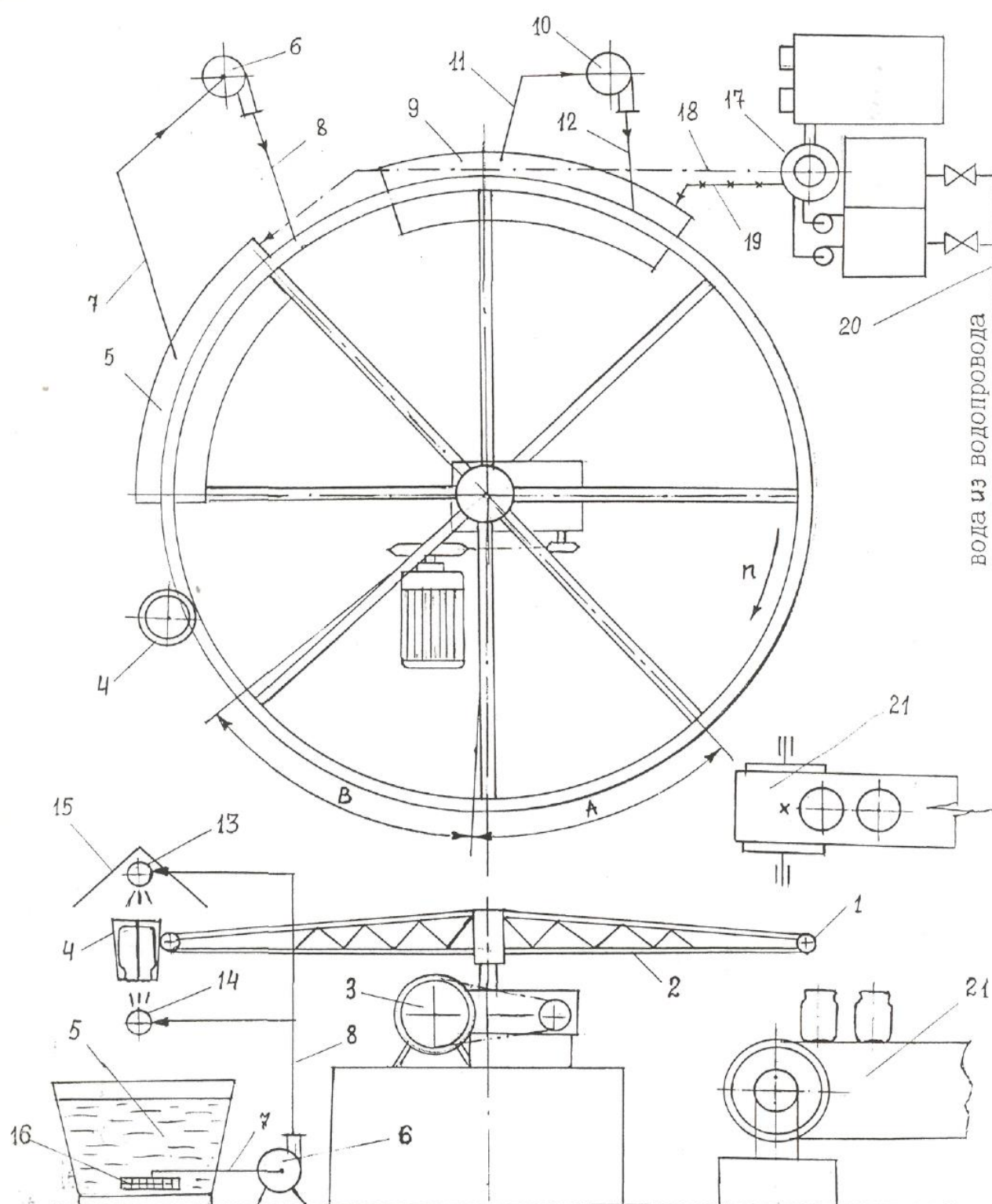
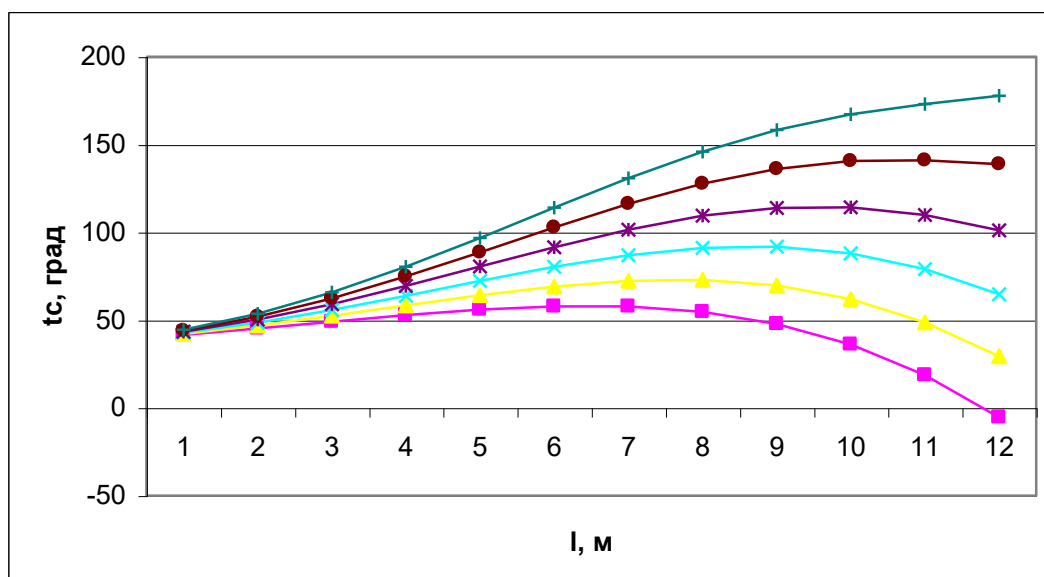
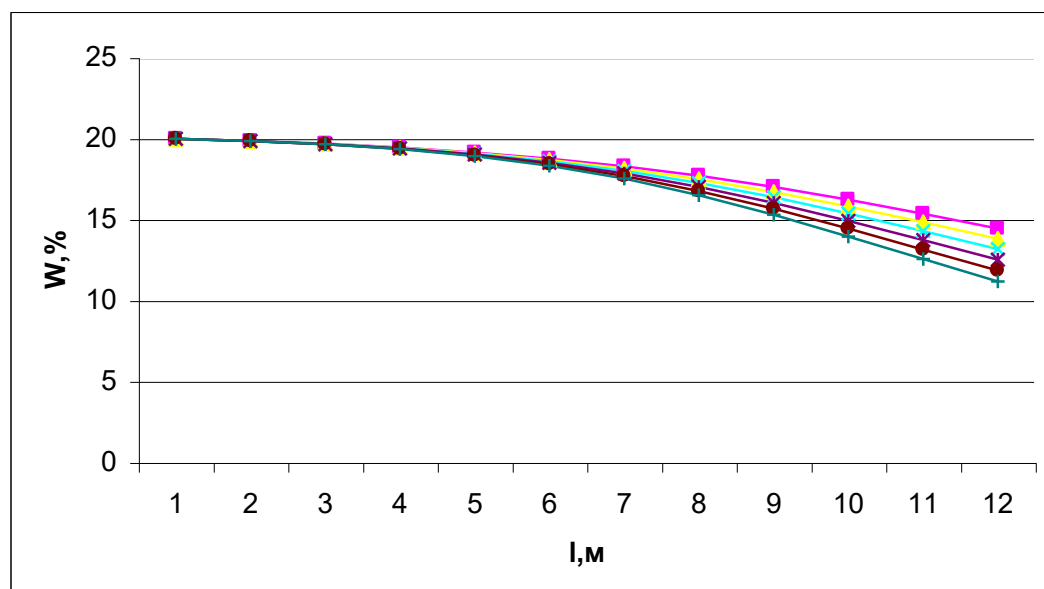


Рис.9. Принципиальная схема установки для мойки стеклянных банок активированной водой



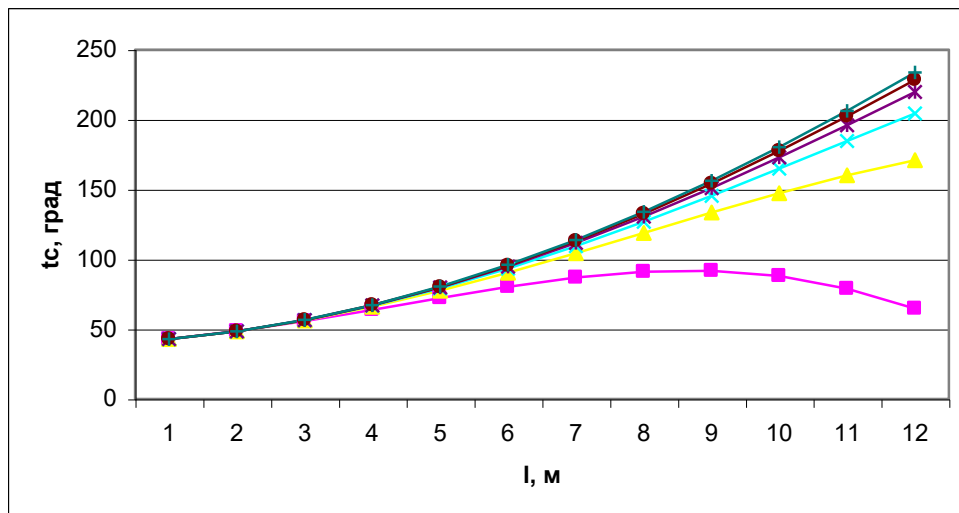


а)

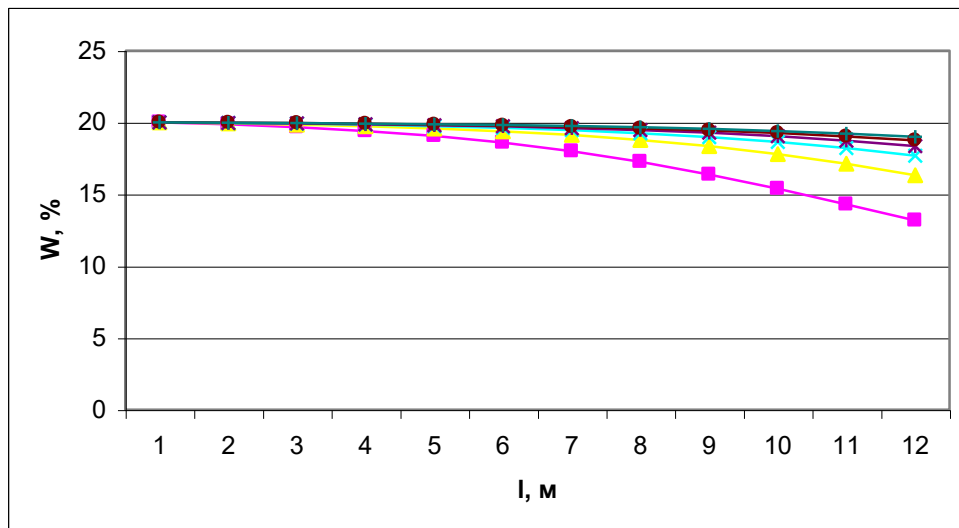


б)

Рис.10. Зависимости а) температуры и б) влажности семян от мощности ИК-нагревателей при  $N=3$ ;  $K=2$ ;  $t_B=40^\circ\text{C}$ ;  
 $G_c/G_B=1.5$ ; ♦ -  $N=1.5$ ; □ -  $N=2.0$ ; Δ -  $N=2.5$ ; × -  $N=3.0$ ;  
 ж -  $N=3.5$ ; о -  $N=4.0$ .



а)



б)

Рис.11. Зависимости а) температуры и б) влажности семян от соотношения расходов воздуха и семян при  $N=2,5$ ;  $K=2$ ;  
 $t_b=150^{\circ}\text{C}$ ;  $t_c=40^{\circ}\text{C}$ ; ◇ -  $G_c/G_b=1,5$ ; □ -  $G_c/G_b=1$ ; △ -  $G_c/G_b=0,87$ ;  
 × -  $G_c/G_b=0,75$ ; ж -  $G_c/G_b=0,5$ ; о -  $G_c/G_b=0,43$ .

Просим принять участие в работе специализированного совета Д 067.24.03 или выслать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу 700011, г. Ташкент, ул. Наваи, 32. Ташкентский химико-технологический институт, учёному секретарю.

Тел. 8-371-144-81-19. Факс (8-371) 144-79-17

**ДОДАЕВ КУЧКОР ОДИЛОВИЧ**

**РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ  
ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ  
ПЕРЕРАБОТКИ ТОМАТОВ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Отпечатано в типографии Ташкентского  
химико-технологического института  
г. Ташкент, ул. Наваи, 32.  
Заказ № \_\_\_\_ , тираж 100 экз.

---

2006 год