

**Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Самандаров Д.И., Зулпонов Ш.У.**

**ПЕРЕДОВАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРВИЧНОЙ  
ПЕРЕРАБОТКИ КОКОНОВ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА**

*Монография*

Ташкент - 2023

УДК: 677.371

ББК: 46.92

П26

Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Самандаров Д.И., Зулпонов Ш.У.  
Исследование первичной переработки коконов тутового шелкопряда:  
Монография. –Ташкент: «Bookmany print», 2023. –393 с.

В монографии рассматриваются результаты теоретических и практических исследований первичной переработки коконов тутового шелкопряда с помощью инфракрасной вибрационной конвективной сушильной установки с целью получения высококачественной продукции, отвечающей требованиям промышленности шелководства. Представлены итоги проведенных экспериментальных исследований и параметры режимов процесса переработки.

Монография предназначена для инженеров и научных работников в области процессов и аппаратов сельского хозяйства и шелковой промышленности, а также для старших научных сотрудников - соискателей, магистрантов специальности 70720700 - "Машины и агрегаты пищевой промышленности" и студентов технических вузов по направлению 60720700 - "Технологические машины и оборудование (машины и аппараты пищевой промышленности)".

Рецензенты:

д.т.н., проф. Гулямов Ш.М.  
к.т.н., доц. Балтабаев К.К.

Рекомендовано к изданию Советом Ташкентского государственного технического университета.

ISBN:978-9943-8627-2-2

© Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Самандаров Д.И., Зулпонов Ш.У.

© «Bookmany print», 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....	6
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....	8
ВВЕДЕНИЕ .....	9
<b>ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ КУКОЛКИ КОКОНОВ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА.....</b>	<b>14</b>
1.1. Характеристика куколки коконов тутового шелкопряда ...	14
1.2. Анализ техники и технологии первичной обработки коконов тутового шелкопряда .....	20
1.3. Технология процессов морки и сушки коконов .....	32
1.4. Установки для первичной обработки коконов .....	38
<b>ГЛАВА 2. ВОЗДЕЙСТВИЯ УПРУГИХ ВОЛН НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ</b>	<b>66</b>
2.1. Упругие волны в природе, науке, технике, технологии, медицине .....	66
2.2. Свойства ультразвуковых колебаний .....	73
2.3. Применение ультразвуковых колебаний .....	76
2.4. Типы и классификация ультразвуковых преобразователей	80
2.5. Применение ультразвука в сельском хозяйстве .....	83
2.6. Ультразвуковая сушильная установка .....	84
2.7. Воздействие упругих волн на насекомых .....	89
2.8. Виброускорение, виброскорость и виброперемещение .....	97
2.9. Исследования действия инфразвука на биологические объекты .....	99
2.10. Переработка продукции растительного происхождения инфракрасными лучами .....	104
<b>ГЛАВА 3. СТРУКТУРА КОКОНОВ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА И ВЛАГИ.....</b>	<b>114</b>
3.1. Шелководство – отрасль сельского хозяйства .....	114
3.2. Композиционная структура и система тутовых шелкопрядов.....	116
3.3. Свойства и структура коконов тутового шелкопряда .....	123
3.4. Исследование состояния коконов тутового шелкопряда ...	125
3.5. Тепловой баланс .....	127
3.6. Разработка методов исследования процессов переноса тепла и влаги .....	128

3.7.	Основы тепломассопереноса через пористые материалы ...	132
3.8.	Процесс переноса влаги через пористые материалы .....	135
3.9.	Метод конечных объемов .....	141
<b>ГЛАВА 4.</b>	<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА И ВЛАГИ В СТЕНКАХ КОКОНА ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА..</b>	<b>143</b>
4.1.	Математические описания явлений и процессов в элементах кокона .....	143
4.2.	Решение методом конечных объемов .....	149
4.3.	Физические параметры шелковых волокон .....	157
4.4.	Исследование вибрационного числа на основе эффективной диффузии влаги и ее влияния на удельное энергопотребление .....	158
4.5.	Программное обеспечение математической модели предварительной переработки живого шелкопряда .....	162
<b>ГЛАВА 5.</b>	<b>РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР РАСПОЛОЖЕНИЯ ИК- ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В СУШИЛЬНОМ ШКАФУ. РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ .....</b>	<b>177</b>
5.1.	Исследование констант теплообмена для продуктов растительного происхождения в процессе сушки с учетом нелинейных явлений .....	177
5.2.	Трехмерные задачи двухслойных материалов – коконов тутового шелкопряда с целью управления процессом обработки .....	179
5.3.	Выбор и расчет оптимального расположения инфракрасного излучения в сушильной установке .....	185
5.4.	Исследование нелинейного уравнения тепломассообмена в природных средах при инфракрасном нагреве .....	193
5.5.	Первый вариант лабораторного вибромеханизма в сушильной камере .....	195
<b>ГЛАВА 6.</b>	<b>РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ КОКОНОВ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА.....</b>	<b>200</b>
6.1.	Экспериментальные исследования процесса морки и сушки коконов тутового шелкопряда .....	200
6.2.	Результаты лабораторно-экспериментальных исследований.....	206
6.3.	Анализ кинетики сушки и эффективность диффузии влаги и ее влияния на удельное энергопотребление .....	229

6.4.	Исследование температурного поля процесса первичной переработки коконов тутового шелкопряда .....	240
6.5.	Сравнение данных моделирования и экспериментальных результатов по коконам .....	244
6.6.	Результаты качественных анализов .....	246
<b>ГЛАВА 7.</b>	<b>РАЗРАБОТКА КОНВЕЙЕРНОЙ ИНФРАКРАСНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИБРАЦИИ ДЛЯ МОРКИ И СУШКИ КОКОНОВ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА .....</b>	<b>249</b>
7.1.	Конструкция и принцип работы инфракрасной вибрационной сушильной установки для первичной переработки коконов тутового шелкопряда .....	249
7.2.	Техническое задание на конвейерной инфракрасной сушильной установке с использованием упругих волн для морки и сушки коконов тутового шелкопряда .....	252
7.3.	Технические условия на конвейерную инфракрасную сушильную установку с использованием упругих волн для морки и сушки коконов тутового шелкопряда .....	263
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>283</b>
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>287</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>317</b>

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей работе применяются следующие термины с соответствующими определениями:

*Аэрация* – проветривание.

*Бивольтинные породы* – дающие два поколения в год.

*Возраст* – время развития гусеницы между двумя линьками.

*Вольтинизм* – способность некоторых насекомых давать в течение года от одного до нескольких поколений.

*Выкормка* – период развития гусеницы от выхода из яйца до завивки кокона.

*Гибрид* – потомство, полученное в результате межпородного скрещивания.

*Гифы* – ниткоподобные образования, которые составляют грибницу и плодовые тела грибов.

*Грена* – яйца тутового шелкопряда.

*Завивка (кокона)* – процесс выделения гусеницей шелковой нити с момента восхождения на коконник до образования кокона.

*Зрелость (гусениц)* – готовность гусениц к завивке.

*Инкубаторий* – специально оборудованное помещение, в котором поддерживаются условия, необходимые для развития зародыша тутового шелкопряда в яйце.

*Инкубация грены* – процесс воздействия на грену температуры, влажности и света.

*Коконник* – приспособление для завивки гусеницей кокона.

*Коробка грены* – условная единица расфасовки яиц тутового шелкопряда.

*Линька (гусениц)* – процесс сбрасывания гусеницами старой шкурки.

*Оживление грены* – процесс появления гусениц из яйца.

*Подстилка* – остатки не съеденного гусеницами корма.

*Разведчики* – гусеницы тутового шелкопряда, первыми вылупившиеся из яиц.

*Раструска* – процесс отыскания концов коконной нити при помощи специальных щеток.

*Сон* – продолжительность линьки.

*Съемники* – приспособления для съема гусениц и смены подстилки.

*Шелконосность* – процентное отношение веса оболочки к весу кокона.

*Влажность* – показатель содержания воды в физических телах или средах;

*Гелиосушилка* – это устройство для сушки продукции, при помощи солнечной энергии;

*Растительное сырьё* – свежие, очищенные или отмытые от земли, освобождённые от других частей растения, собранные ранней весной или поздней осенью корни;

*Теплоноситель* – жидкое или газообразное вещество, применяемое для передачи тепловой энергии;

*Термочувствительность* – свойство химического соединения реагировать на изменение температурных условий окружающей среды;

*Трение* – процесс взаимодействия тел при их относительном движении в газообразной или жидкой среде;

*Теплоемкость* – количество теплоты, затрачиваемое на изменение температуры на один градус Цельсия;

*Тепловой аккумулятор* – устройство для накопления тепла с целью его дальнейшего расходования;

*Удельный вес* – физическая величина, которая определяется как отношение веса вещества к занимаемому им объёму;

*Эксперимент* – метод исследования некоторого явления в лабораторных или производственных условиях;

*Биологически активные вещества* – вещества, которые способны оказывать влияние на биологические процессы в организме;

*Сушка* – процесс удаления из материала любой жидкости, в результате чего в нем увеличивается относительное содержание сухой части.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ИЗ	– инфразвук;
НЧ	– низкая частота;
ПОК	– первичная обработка коконов;
ИК	– инфракрасный;
УЗ	– ультразвук;
УЗНЧ	– ультразвук низких частот;
УЗСЧ	– ультразвук средних частот;
УЗВЧ	– ультразвук высоких частот;
ЭАС	– электроакустическая система;
УЗКС	– ультразвуковые колебательные системы;
СКЗ	– среднеквадратичное значение;
Гц	– Герц;
КГСУ	– конвективные гелиосушительные установки;
США	– Соединенные Штаты Америки;
СРСУ	– солнечные радиационные сушильные установки;
СНГ	– Содружество Независимых Государств;
к.п.д.	– коэффициент полезного действия;
БАВ	– биологически активные вещества;
ВИЭ	– возобновляемые источники энергии;
СП	– северный полюс;
ПК	– полярный круг;
МКС	– многокомпонентные системы;
ФТАМ	– фазопереходные теплоаккумулирующие материалы;
ТАМ	– теплоаккумулирующие материалы;
КГС	– комбинированная гелиосушилка;
%	– процент;
кг	– килограмм;
тыс.	– тысяча;
$^{\circ}\text{C}$	– градус Цельсия;
$\text{кВт} \cdot \text{ч}$	– киловатт · час
$\text{Вт}$	– Ватт;
$\text{м}^2$	– метр квадратный;
$\text{м}^3$	– метр кубический;
л	– литр;
ч	– час;
см	– сантиметр;
$\tau$	– время.

## ВВЕДЕНИЕ

Шелководство – отрасль сельского хозяйства, которая занимается разведением шелкопрядов для получения шелковичных коконов – сырья для изготовления натурального шёлка.

На сегодняшний день кокон и шелковая продукция занимают важное место на мировом рынке. «Ежегодно заготавливаются в среднем 640 тыс. тонн коконов и среди стран, выращивающих коконы, в 2015 году вырабатывалось 130 тыс. тонн шелка-сырца». С учетом высокого требования к качеству шелковой продукции на мировом рынке особое значение приобретает обеспечение конкурентоспособности производимой продукции. В мировой практике особое внимание уделяется технологическим процессам первичной обработки коконов, созданию техники и технологии производства качественного шелка-сырца из новых гибридов, влияющего на качественные показатели коконного сырья. В годы независимости в стране особое внимание обращалось на эффективное развитие шелководства, а также на производство шелка-сырца и шелковых изделий с высокими качественными показателями и конкурентоспособностью.

*Актуальность* научно-исследовательских проектов – подтверждается изданием соответствующих принятых правительственных документах: Указе Президента Республики Узбекистан от 07.02.2017 года №4947 “О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан”, Постановлении Президента Республики Узбекистан от 24.03.2017 года №4881 “О мерах по дальнейшей поддержке предприятий шелковой отрасли республики”, Постановлении Президента Республики Узбекистан от 29.03.2017 года №2856 “О мерах по организации деятельности ассоциации “Узбекипаксаноат”” и Постановлении Президента Республики Узбекистан от 12.01.2018 года №3472 “О мерах по дальнейшему развитию шелковой отрасли в республике” [1-5].

В Стратегии действий дальнейшего развития Республики Узбекистан намечено «сокращение энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, расширение использования возобновляемых источников энергии, повышение производительности труда в отраслях экономики» [1]. Как отмечается в Постановлении Президента Республики Узбекистан Ш.М.Мирзиёева, существующие в стране тутовые плантации шелковицы используются недостаточно эффективно, а в зимний период урожайность тутовников существенно снижается. Из-за недостаточного производства коконного сырья производственные мощности шелкомотальных и шелкоткацких предприятий задействованы не полностью [3].

Сегодня более 80 миллионов линейных насаждений и 51 тысяча гектаров плантаций шелковицы обеспечивают выкормку гусениц тутового шелкопряда в объеме 450 тысяч коробок и производство около 26 тысяч тонн коконов тутового шелкопряда. Для покрытия дефицита ежегодно импортируется 230-250 тысяч коробок грены тутового шелкопряда – до 50% от потребности предприятий отрасли.

Особое внимание в постановлении уделено производству грен и коконов, их заготовке и первичной переработке путем внедрения высокопродуктивных пород и гибридов тутового шелкопряда, модернизации действующих и созданию новых мощностей по производству шелка-сырца, а также организации глубокой переработки коконов.

Ожидается, что к 2022 году общая доля объемов переработки коконов тутового шелкопряда будет увеличена на 20%, с созданием новых рабочих мест и увеличением поступления валютных средств за счет экспорта продукции.

Анализ современного состояния первичной обработки куколки коконов тутового шелкопряда, изучение воздействия упругих волн на биологические объекты, динамика тепловых процессов лучистого инфракрасного нагрева и тепловой активации материалов продукции, рациональный выбор расположения ИК-излучателей в сушильном шкафу и разработка лабораторной вибрационной установки.

Получены следующие результаты:

Проведен литературный обзор и анализ состояния и применения перспективной техники и технологии для морки и сушки коконов тутового шелкопряда. Изучены классификации и характеристики сушильных установок.

Получены результаты в рамках нелинейных взаимодействий физических процессов, протекающих во время сушки объекта. Кроме того, использован метод многофазных сред, где фазовая структура была усреднена для каждой фазы.

Получены результаты, имеющие своеобразный подход к их созданию, учитывающие нелинейные явления для физических процессов.

Решены стационарные задачи при воздействии внешних источников энергии – инфракрасных и упругих волн. Показаны условия линеаризации задач для теплофизических процессов, изучаемых в теории сушки сложных сред продуктов.

Обоснована зависимость мощности облучения в точке нахождения обезвоживаемого объекта от расстояния до излучателей, между излучателями и способами получения равномерного инфракрасного облучения обезвоживаемых продуктов с помощью элементов-отражателей соответствующей конфигурации в сушильной установке с ИК-нагревом.

Экспериментально и теоретически разработано расположение

инфракрасных излучателей и датчиков температуры с целью равномерности сушки коконов тутового шелкопряда. Это позволяет исключить локальные перегревы.

Результаты научных исследований рекомендованы для использования при разработке проектно-конструкторской документации на сушильные установки с ИК-нагревом и вибрациями в учебном процессе ТашГТУ при чтении курсов «Основы технологических процессов и аппаратов».

Подготовка схем и расчетов для предлагаемой энергосберегающей низкотемпературной, инфракрасной, вибрационной установки, с применением упругих волн и конвективного теплоподвода, а также разработка и подготовка технического задания установки, работающей при низкой температуре для сбережения энергии и получения высококачественной продукции.

Получены следующие результаты:

Формирование коконов тутового шелкопряда и свойства шелковых волокон были представлены впервые. В частности, была объяснена разница теплопроводности в разных типах волокон и в разных направлениях одного и того же волокна. Теплопроводность в осевом направлении выше, чем теплопроводность в радиальном направлении, поскольку тепло можно легко проводить в направлении макромолекулярной цепи, но не в направлении, перпендикулярном макромолекулярной цепи.

Тепло проводится путем молекулярного столкновения в радиальном направлении, что снижает скорость теплопроводности. Кокон тутового шелкопряда демонстрирует превосходные теплоизоляционные свойства, которые намного превосходят другой сорт коконов.

Основам переноса тепла и влаги считаются пористые материалы, поскольку стенка кокона также является своего рода пористым материалом. Факторы, влияющие на перенос тепла и влаги через пористые материалы, были представлены подробно. На процесс теплопередачи влияют теплопроводность, конвекция, излучение и скрытое тепло, вызванное изменением фазы. На процесс переноса влаги влияют диффузия влаги, конвекция, образование водяного пара, вызванное изменением фазы, капиллярным эффектом и гравитационным эффектом.

Метод конечных объемов, который решает уравнения в частных производных, поскольку уравнения в них используются в уравнениях сохранения энергии и массы, был применен к процессу тепло- и влагопереноса через коконы тутового шелкопряда.

Моделировались процессы тепло- и влагопереноса и их взаимодействие в пористой стенке кокона тутового шелкопряда. Изложена базовая структура стенки кокона в модели. Чтобы сделать расчет модели осуществимым, были сделаны некоторые предположения о построении модели.

Были представлены уравнения сохранения энергии и массы, которые описывают процессы переноса тепла и влаги в стенках кокона тутового шелкопряда в качестве определяющих уравнений. Метод конечных объемов был применен при дискретизации управляющих уравнений для получения численного решения модели.

Подробно были показаны уравнения дискретизации с постоянным и переходным режимом сохранения в одномерном, двумерном и трехмерном форматах.

Рассмотрены основы переноса тепла и влаги через стенку кокона - пористого материала. Подробно представлены факторы, влияющие на перенос тепла и влаги через стенку кокона. На процесс теплопередачи влияют теплопроводность, излучение и теплота, на процесс переноса влаги – диффузия влаги, теплота парообразования, капиллярный и гравитационный эффекты.

Разработано программное обеспечение математической модели предварительной переработки живого шелкопряда. С помощью программы выполняются расчёты технологического процесса предварительной переработки живого шелкопряда с инфракрасными лучами, тем самым достигается энергия сбережения и повышения качества продукта. Предлагаемая программа ускоряет обработку научных результатов испытаний, снижает вероятность возникновения ошибок, неизбежных при обработке большого объема экспериментальных данных, уменьшает трудозатраты на расчеты и, как следствие, повышает производительность труда.

Полученные результаты экспериментов подтверждают, что при применении вибрации и ИК-излучения ускоряется процесс первичной переработки коконов тутового шелкопряда. Определено, что живые коконы, обработанные инфракрасным облучением при температуре 65-70 °С, с сопровождением вибрационных волн, за 8-10 минут обработки погибнут на 100% и в течение 7 дней при комнатной температуре 38-40 °С высохнут по конечному состоянию влаги до 10-12%.

В результате исследования найдены оптимальные температура и время для первичной переработки коконов тутового шелкопряда. За счет кратковременной переработки улучшается конечный продукт.

Из приведенных выше исследований можно сделать вывод, что с использованием вибрации и ИК во время процесса переработки сокращается время сушки примерно до 60 мин и снижается температура процесса до 65-70 °С, тем самым экономятся затраты энергии.

Подана заявка на полезную модель «Устройство для морки и сушки коконов». FAP 2019 0149 от 30.07.2019 г.

На программный продукт «Программное обеспечение математической модели предварительной переработки живого шелкопряда» получено DGU 06931 от 23.09.2019 г.

Разработано техническое условие Ts-26985714-01-2019 на «Конвейерную инфракрасную сушильную установку с использованием упругих волн для сушки и морки коконов тутового шелкопряда».

Разработаны технические задания ТЗ-26985714-03-2019 на «Конвейерную инфракрасную сушильную установку с использованием упругих волн для сушки и морки коконов тутового шелкопряда».

Результаты научных исследований рекомендованы для использования при разработке проектно-конструкторской документации на сушильные установки с ИК-нагревом и вибрациями в учебном процессе ТашГТУ при чтении курсов «Основы технологических процессов и аппаратов».

Целью третьего этапа (2020 г.) настоящей работы является проведение экспериментальных исследований в промышленных условиях в разработанной инфракрасной вибрационной установке для первичной обработки коконов тутового шелкопряда. Определен оптимальный параметр процесса переработки.

Монография включает отдельные результаты научно-исследовательских работ прикладного госбюджетного проекта, выполненных по теме Ф-А-2018-029. «Разработка техники и технологии для морки и сушки коконов тутового шелкопряда» и Т-ОТ-2021-169. «Изготовление опытно-промышленного образца для качественной морки и сушки коконов тутового шелкопряда с помощью инфракрасного излучения и вибрации».

# ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ КУКОЛКИ КОКОНОВ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА

## 1.1. Характеристика куколки коконов тутового шелкопряда

Тутовый шелкопряд (лат. *Bombyx mori*), или шелковичный червь – гусеница и бабочка. Тутовый шелкопряд – это единственное полностью одомашненное насекомое, не встречающееся в природе в диком состоянии. Самки его даже «разучились» летать. Взрослое насекомое – толстая бабочка с беловатыми крыльями размахом до 6 см. Гусеницы этого шелкопряда едят только листья шелковицы, или тутового дерева. Гусеницы шелкопряда завивают коконы, оболочки которых состоят из непрерывной шёлковой нити длиной 300-900 м и до 1500 м в самых крупных коконах.

Натуральный шелк известен человечеству уже более пяти тысяч лет. Все это время он считался самым элитным и роскошным материалом. Причины популярности шелковых тканей кроются в особом составе сырья и уникальных свойствах шелковой нити. Ведь по своей природе натуральный шёлк состоит на 97% из волокнистых протеинов и 18 аминокислот, положительно влияющих на метаболизм человека. Это очень нежный, легкий и удивительно теплый материал, вопреки мнению о холодности его прикосновений.

Для создания всего одного метра шелковой материи требуется от 2800 до 3300 коконов, на галстук уходит 110 коконов, 650 требуется для изготовления блузки, а для шелкового одеяла может потребоваться до 12000 коконов тутового шелкопряда [6].

Кокон, производимые гусеницами шелкопряда, представляют собой один вид природных структур и полимерных композиционных материалов, которые обладают превосходными механическими свойствами. Проядая листья тутового дерева почти постоянно в течение 4-6 недель (для того, чтобы сохранить достаточное количество питательных веществ и иметь возможность скинуть с себя до пяти раз шкуру) личинки шелкопряда начинают создавать защитные коконы для своих куколок. Кокон защищает куколку мотылька от микробной деградации и высыхания во время метаморфоза, а также защищает от потенциальных хищников. Гусеница из шелкопряда вращает легкий и компактный кокон вокруг себя, непрерывно осуществляя движения головой в форме «8» или «S», и циклически изгибаясь и растягивая ее тело. Для строения кокона требуется примерно 3 дня. После того, как шелкопряд заканчивает обматываться в кокон, он сбрасывает свою кожу в последний раз и становится куколкой [7-9].

Жизненный цикл шелкопряда, от микроскопического яйца в красивый мотылек просто улетным. Эти этапы подробно представлены ниже на рисунке 1.1.



**Рис. 1.1. Жизненный цикл шелкопряда**

Оболочка кокона удобна и безопасна, она позволяет ей превращаться в шелкопряд. Эллипсоидальный кокон имеет наименьшую толщину на двух концах, так что моль может проникнуть через него после метаморфоза от куколки к моли. Поверхность кокона сморщена [10], такой вид образуется из-за неравномерной усадки во время сушки. Кокон представляет собой натуральную полимерную композитную оболочку из единственной непрерывной шелковой нити длиной 1000-1500 м и сгущенную серицином. Сырой шелк, содержащий кокон, состоит из двух белков, серицина и фиброина. Первый растворим в горячей воде, а последний нет. Благодаря своим исключительным механическим свойствам, естественные шелковые волокна, производимые шелкопрядами, пауками и шершнями, привлекли большое внимание в последнее десятилетие. Особенно интересны исследования взаимосвязи их макроскопических свойств и многомасштабных микро- и наноструктур в качестве средства разработки и изготовления передовых биомиметических материалов [7, 11-17].

Кокон - продукт центральных механизмов, настроенных внешней и внутренней средой. В сфере построения конструкции и его образования был проведен ряд научных исследований [18-22]. Т.Каисе и его коллеги [21-22] предложили некоторые вычислительные модели для моделирования картины

движения головы личинки и растяжения, изгибания и качания его тела с образованием кокона. Э.Мусаев [23] рассмотрел некоторые технологические параметры коконов, используя оптоэлектронные методы, например, спектральные характеристики, описывающие поглощение и отражение света коконов при разных длинах волн. Используя термогравиметрию, дифференциальный термический анализ и инфракрасную абсорбционную спектрометрию с преобразованием Фурье, Х.Жанг, Ж.Магоши и другие [24] изучали цвет, размер и форму оболочек коконов *Bombyx mori* после термообработки при повышении температуры. Было обнаружено, что размер уменьшался с увеличением температуры, и вес терялся из оболочки кокона. М.Цукада и другие [25-27] изучали поведение термического разложения секориновых коконов также структурные изменения шелковых волокон, вызванные термообработкой.

Оболочка кокона играет значительную роль в трансформации от шелкопряда и куколки к взрослой бабочке. Исследования физико-механических свойств такого рода натуральных полимерных композиционных материалов будут иметь особое значение для более глубокого понимания эволюции и физиологии шелкопрядов, системы обработки натурального полимера и будут представлять интерес для биомиметического проектирования искусственных структур [28-33]. Однако на сегодняшний день отсутствуют результаты исследований механических свойств и микроструктур коконов тутового шелкопряда. Hong-Ping Zhao [7] изучал систематические экспериментальные исследования коконов тутового шелкопряда, которые можно рассматривать как слоистый биоматериал, связанный серицином, оболочки кокона построенного личинкой китайского шелкопряда, *Bombyx mori*. Им был исследован модуль упругости и прочности кокона и качество полученного композиционного материала. Их изменения вдоль направления толщины также измерялись путем искусственного шелушения кокона до более тонких слоев. Следует отметить, что как модуль упругости, так и прочность изменяются в направлении толщины таким образом, когда кокон может эффективно выдерживать не только внешние статические силы, но и динамические ударные нагрузки [34-44].

Синтез фибриллярных белков - фиброина и серицина, образование их растворов, формование нитей шелка производится взрослой личинкой шелкопряда, в организме которой сформированы парные железы (рисунок 1.2) [45].

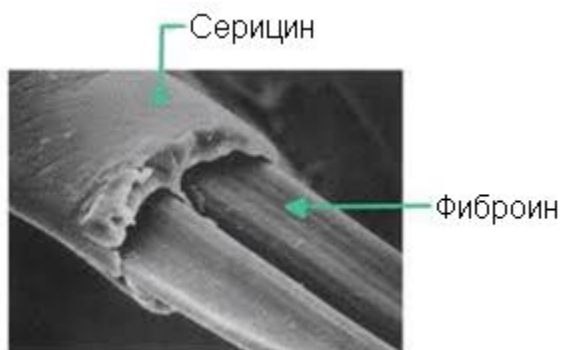


Фиброин шелка представляет собой белок сравнительно простого строения, состав которого варьируется в зависимости от вида вырабатывающих его шелковичных червей. Фиброин шелка имеет ориентированную кристаллическую структуру, полипептидные цепи сгруппированы таким образом, когда образуются плоскости, причем конфигурация каждой цепи такова, что повторяющиеся фрагменты параллельны оси волокна; каждая цепь связана водородными связями с двумя соседними цепями [46-50].

Элементарный состав фиброина, %:

Углерод	48,0-49,1
Водород	6,4-6,51
Азот	17,35-18,19
Кислород	26-27,9

Фиброин относительно высокоориентированное вещество, ориентированные участки составляют 40-60 % массы волокна (рисунок 1.4).



**Рис. 1.4. Структура шелковистого волокна под микроскопом**

*Серицин (шелковый клей)* принадлежит к классу альбуминоидных протеиновых тел и находится совместно с фиброином в сыром шелке. По своему составу серицин отличается от фиброина [50-52]. Цепи макромолекул серицина не упорядочены и не имеют волокнистого строения. Извлекают серицин вывариванием сырого шелка в воде, причем фиброин не растворяется, и в раствор переходит только серицин. Полученный таким путем горячий водный раствор серицина при охлаждении застывает в виде студня. Чистый высушенный серицин представляет собой порошок без цвета и запаха, разбухающий в холодной воде и легко растворимый в горячей [53].

При гидратации путем кипячения с разведенной серной кислотой в числе многих других продуктов образуются лейцин, тирозин и серин; гликоколя не образуется, чем серицин резко отличается от серикоина, представляющего альбуминоид, образующийся из фиброина под влиянием крепкой соляной кислоты на холоде; при этом процессе от фиброина отщепляется 1% азота (в виде аммиака) и получается раствор, из которого при соединении его с большим количеством спирта выпадает в осадок серикоин в виде белого порошка. При кипячении с разведенной серной кислотой в числе продуктов распада серикоина получены гликоколь, тирозин и аланин (лейцин не образуется) [53].

Серицин нерастворим в спирте, эфире, бензоле, ацетоне и других органических растворителях, в отличие от фиброина он при длительном кипячении растворим в воде (при температуре 110 °С его можно удалить полностью). Скорость растворения серицина возрастает в растворах щелочей и кислот. При рН менее 4 растворы серицина желатинизируются - переходят из золя в гель. Они обладают адсорбционными и эмульгирующими свойствами (способны адсорбировать красители, жирные кислоты, эмульгировать масла). На практике жидкость, остающуюся после обесклеивания шелка, используют в качестве выравнивателя при крашении шелка.

Серицин не имеет критической температуры растворения, что обусловлено полидисперсностью молекул. В верхних слоях оболочки преобладают более короткие, а во внутренних - более длинные молекулы серицина, поэтому в верхних слоях оболочки коконов серицин начинает растворяться при температуре 70 °С, а во внутренних - при температуре 80 °С и выше.

Легкость растворения серицина определяют по количеству вещества, выварившегося из оболочки кокона в кипящей воде в течение 7,5 мин. Условно этот показатель называют степенью растворимости.

Степень растворимости серицина зависит от породы шелкопряда, способа первичной обработки коконов и достигает 12-15%. При средней растворимости серицина оболочек при обработке 50 коконов, равной 4,39%, растворимость серицина оболочек отдельных коконов колеблется от 2,51 до 6,29%.

Элементарный состав серицина:

Углерод	44,32-46,29
Водород	5,79-6,42
Азот	16,44-18,33
Кислород	30,35-32,5
Сера	0,15

**Таблица 1.1**

**Аминокислотный состав фиброина и серицина натурального шелка  
(приведены основные виды аминокислотных остатков, %)**

Аминокислоты	Фиброин	Серицин
Глицин	40...44,5	8...14
Аланин	26...34	3...5
Серин	10...16	21...37
Тирозин	5...13	2,5...6
Валин	2...4	3...4
Аспарагиновая кислота	1...2,8	14...17,5
Глутаминовая кислота	1...1,7	3,5...6
Треонин	1...1,9	6,5...10
Аргинин	0,3...1,5	3,5...6
Лизин	0,3...0,5	2,5...4

В таблице 1.1 приведён аминокислотный состав серицина, который имеет менее регулярное строение и более низкую молекулярную массу. В его

составе достаточно большая доля аминокислотных остатков с большими размерами боковых заместителей, что ограничивает его кристаллизацию и способствует высокой растворимости в воде [50, 54].

## **1.2. Анализ техники и технологии первичной обработки коконов тутового шелкопряда**

Производство кокона является наиболее развитым из шелкопряда *Bombyx mori* – типичного насекомого. Шелковицы размножают в больших количествах для производства шелка. Имеются более 1000 штаммов включая разные географические и мутантные штаммы. Среди них много цветных мутантов, включая белый, желтый, золотисто-желтый, оранжевый, розоватый, и зеленый [55].

Кокон из шелкопряда – это биологические композиционные структуры, защищающие шелкопрядов от воздействия окружающей среды и физических атак естественных хищников. Куколки шелкопряда для получения сырья для текстильной промышленности необходимо умиротворить. Сушка коконов необходима, чтобы умиротворить куколку от превращения в моль (бабочку), которая в противном случае выйдет из кокона, пробив оболочку. Тем самым оболочку кокона сделает бесполезной.

Кокон можно умиротворить либо с помощью пара или горячего воздуха. Многие исследования показывают, что целью сушки кокона является предотвратить появление личинок и мотыльков, удалить влагу, содержащуюся в оболочке кокона и куколок, и тем самым сделать коконы способными к сохранению в течение длительного времени при нормальной температуре и влажности (Narasaiah) [56]. Несколько методов искусственной сушки были направлены на то, чтобы умиротворить куколок путем размещения коконов на перфорированных матах или в коробках с проволокой, где они подвергаются воздействию водяного пара в течение трех часов. После этого коконы подвергают сушке, но наиболее часто используемый метод, применяемый для куколок, которых умиротворяют и высушивают, включает продувание нагретого воздуха при температуре от 50 до 102±2 °C по вертикали, прошедшего через гриль, при котором коконы помещаются в сетчатые мешки. Семинар по экспериментальному искусству (Sericultural Experiment Station - S.E.S.) [57] указывает, что свежие коконы содержат живые куколки, которые в естественном цикле будут прорывать кокон и сделают его бесполезным для производства шелка. Чтобы контролировать цикл, куколки должны быть умиротворены, а коконы обработаны таким образом, чтобы их можно было хранить и использовать в процессе наматывания по мере необходимости. Процент содержания влаги варьируется в зависимости и разнообразия шелкопрядов, сезона выращивания, от пола гусениц и т.д [55].

Большая часть воды содержится в кукольном теле (75-79%), в то время как свежая оболочка кокона содержит (11-12%). По этой причине вентиляторы должны быть рассчитаны на обеспечение скорости воздуха 1,0 м/с. Воздух,

нагретый до  $102 \pm 2$  °С, является достаточным для обеспечения быстрой сушки. Температура воздуха выше  $115 \pm 5$  °С может помешать на содержание серицина. Так, что в процессе наматывания, эффективность торцевых концов и снижение способности барабанов, что приводит к уменьшению доли сырого шелка в коконе. П.Ву и др. [58] показало, что основной целью сушки коконов шелкопряда является умиротворение куколок и снижение потенциально опасного содержания влаги, что позволяет хранить коконы до года в надлежащих условиях. Поэтому коконы шелкопряда должны быть высушены сразу же после сбора урожая из-за возможности появления мотыльков из куколок, которые они содержат, и могут испортить важную особенность коконов изнутри, которая приводит к скатыванию сырья. Правильная сушка позволяет коконам выдерживать длительное хранение (6-12 месяцев) без появления плесени. Целый высушенный кокон имеет содержание влаги около (8-12%) и (6-8%) в оболочке кокона, в то время как тело высушенных куколок содержит около (7-13%). Э.К.Нгуку и др. [59] показали, что сушка на солнце по-прежнему является наиболее распространенным методом для сохранения коконов. Из-за отсутствия достаточных методов хранения для распространения урожая коконов, которые должны быть высушены тонкими слоями на проложенных основаниях или матах, где они подвергаются воздействию солнечных лучей и ветра в течение 3-5 дней.

Значительные потери могут произойти при естественной сушке на солнце из-за различных факторов, таких как наличие грызунов, насекомых, дождей и микроорганизмов. Этот метод отрицательно влияет на слои серицина в этих коконах и снижает качественные характеристики за счет воздействия коконов на ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, что, в свою очередь, увеличивает общую потерю коконов. В работах Э.К.Нгуку также было указано, что шелковая нить теряет около 50% от ее прочности при воздействии ультрафиолетовых лучей в течение 6 часов. Л.Йонг-ву [60] определил, что в случае искусственной сушки начальная температура процесса оказывает наибольшее влияние на оболочку кокона и когда температура превышает максимальные пределы, серицин резко дегенерируется, что приводит к уменьшению процента сырого шелка. Если начальная температура для сушки кокона слишком сильно опускается, то это способно ухудшить чистоту результата качества сырого шелка.

С.Морохоши [61] указал, что коконы должны быть высушены после сбора урожая, до хранения или маркетинга. Сушка способствует снижению уровня воды и предотвращает появление распада, вызывая рост организмов во время хранения, и помогает умиротворять куколки внутри коконов. Э.К.Нгуку и др. [59] изучали эффекты трех процессов морки коконов на их качество и качество сырого шелка тутового шелкопряда *Bombyx mori*. Данный процесс умиротворил куколок, но показал низкую производительность наматывания и качество сырого шелка по сравнению с горячим подавлением водой и сушкой в печи.

Коконь, высушенные с воздействием горячей воды, и термообработкой в печи имели более высокое качество для их дальнейшей переработки. Необработанное удлинение шелка было самым высоким в коконах с применением обработки горячей водой, в то время как аккуратность и чистота были высоки в коконах, высушенных с помощью воздействия горячей воды и печи. Все предложенные методы процедурных воздействий были значительно разными. Ж.Жанг и др. [62] показал, что некоторые наружные сформированные шелковые коконы демонстрируют выдающиеся механические свойства, которые имеют отношение к защите более высокого уровня, необходимого для повышения вероятности выживания шелкопрядов, поддерживая их метаболическую активность. Производительность композитных материалов сильно зависит от адгезии между армированием волокна и матрицей, причем поверхностные свойства волокон играют ключевую роль в определении уровня адгезии. По этой причине важно изучить поверхностные свойства фиброина, полученного из шелка, для дальнейшего оценки композиционных свойств коконов. Общая цель этой исследовательской работы заключалась в изучении влияния температуры нагретого воздуха, скорости продувания воздуха через коконы и времени обработки коконов шелкопрядов. Были определены изменения содержания влаги, вес коконов, массы оболочек, отношения оболочек коконов шелкопрядов, определены умиротворенные куколки, оценено качество шелковой нити во время умиротворения коконов шелкопрядов после процесса термообработки.

В работах Й.Т.Хендав [55] по морке и сушке тутовых шелкопрядов с использованием бутанового газа в механическом сушильном шкафу проведенных в весенние сезоны 2015-2016 гг. было собрано и использовано для целевого исследования около 25 кг шелкопряда *Bombyx mori L.* Механическая сушилка была спроектирована, сконструирована и использована для умиротворения коконовых шелкопрядов А.Авад [63]. Механическая сушилка состоит из четырех частей: основной каркас, сушильный шкаф, воздухонагреватель и система контроля температуры, подача и распределение воздуха для сушки, как показано на рисунке 1.5.

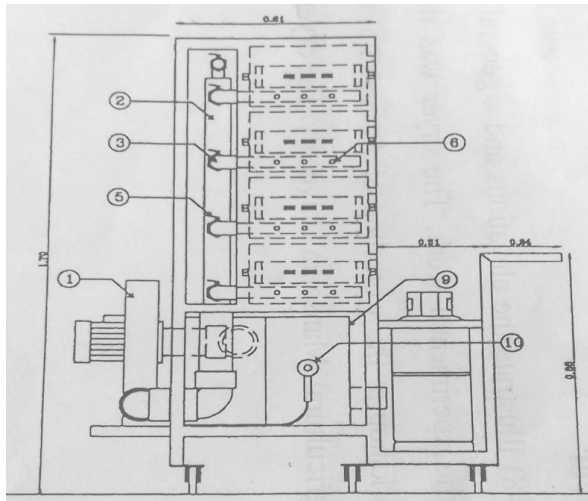


**Рис. 1.5. Общий вид механической сушилки, используемой для экспериментальной работы**

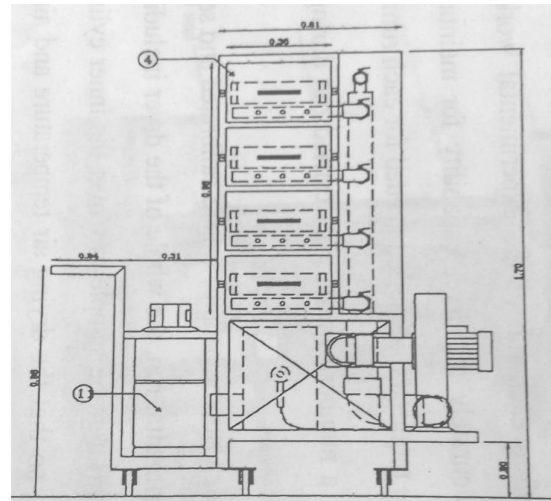
*Каркас сушилки.* Угольные края (50×50 мм) использовались для построения основной рамы сушилки с размерами ширина 600 мм и высота 1750 мм. Три стороны стены сушилки были покрыты металлическими листами толщиной 2 мм и заполнены изоляцией из стекловолокна для уменьшения потерь тепла. Четвертая сторона представляет собой дверь сушилки, которая была удвоена и изолирована. Основной раме была прикреплена маленькая рамой шириной 810 мм × 500 мм с двумя металлическими петлями для газового баллона. Сушилка была снабжена четырьмя резиновыми колесиками для свободного перемещения [55].

*Внутренняя часть сушилки.* Внутренняя часть сушилки состоит из четырех сушильных лотков, которые выполнены из металлических рамок размером 540 мм, шириной 275 мм и высотой 80 мм. И стороны каждого лотка покрыты двойным алюминиевым листом, а основание изготовлено из проволочной сетки из нержавеющей стали. Четыре сушильных лотка расположены вертикально внутри корпуса сушилки (рисунок 1.6).

*Воздухонагреватель и система контроля температуры* [55]. Блок воздушного отопления и контроля температуры состоит из источника бутанового газа с системой зажигания для нагрева двойного теплообменника. Теплообменник имеет два отверстия для входа и выхода воздуха, а на передней стороне закреплено сопло для зажигания газа. Горячий воздух пропускают через поверхность цилиндра, пока не достигается требуемого уровня температуры воздуха для сушки. Сопло для повторного зажигания фиксируется в положении сопла для зажигания газа, чтобы поддерживать непрерывное горения в процессе сушки.



а)



б)

1- центробежная вентилятор; 2- главный воздуховод; 3- канальная ветка воздуховода; 4- сушильные камеры; 5- воздушный клапан; 6- входные отверстия для воздуха; 9- воздухонагреватель; 10- газовое сопло; 11- газовый насос.

**Рис. 1.6. Главный вид (а) и вид сбоку (б) механической сушилки**

Подача и распределение сушильного воздуха состоит из модели воздушного вентилятора IC 98 ZB для подачи воздуха в сушилку и основной вертикальной трубы из ПВХ с четырьмя боковыми ответвлениями. Каждая ветвь сопровождается регулирующим клапаном, чтобы равномерно распределять нагревательный воздух для каждого лотка в таком же количестве.

Экспериментальный процесс включает четыре разных уровня температуры нагретого воздуха 60, 65, 70 и 75 °С, три разных уровня скорости воздуха, которые проводились 1,5, 2,0 и 2,5 м/с. и четыре разных по времени процедур 20, 25, 30 и 35 мин.

Испытуемые уровни температуры нагретого воздуха должны быть отрегулированы так, чтобы постоянно во время каждого эксперимента на разных уровнях, как при температурах 60, 65, 70 и 75 °С, соответственно, и скорости воздуха также корректируются. Перед каждым экспериментальным пуском сушилка регулируется на требуемую температуру нагретого воздуха, используя электрический термостат контроля температуры и необходимые скорости воздуха (1,5, 2,0 и 2,5 м/с), задействия соответствующие клапаны управления воздухом. Свежие коконы распределяют равномерно в одном слое во всех лотках. Экспериментальные опыты продолжались в течение необходимого времени при каждом измерении. Каждый эксперимент проводили по три раза, а термообработанные коконы брали после морки и оставляли для охлаждения. После охлаждения их хранили в мешках для измерения качественных характеристик полученного шелка.

*Параметры кокона [55]:*

А) Составление спецификаций коконов:

*1-содержание влажности:* Содержание влаги в коконах измеряли в соответствии с АОАС [64]. Образцы коконов сушили при 105 °С с использованием сушильной печи до достижения стабильного веса.

*2-температура воздуха:* Для измерения температуры воздуха в разных точках сушилки использовались медно-постоянные термодпары. Они были откалиброваны как при с горячей водой, так и при замерзании. Использовались тридцать термодпар (медно-постоянные) и равномерно распределялись в трех параллельных поверхностях (сверху, посередине и снизу) для измерения температуры воздуха внутри сушилки, а для измерения температуры окружающего воздуха вне сушилки использовалась одна термодпара. Измерения проводились с использованием цифрового термометра (модель Omega-типа J, США).

*3-расход воздуха:* Для измерения скорости воздуха на лотках сушилки в м/сек использовали горячий проволочный анемометр (Testo 425, Германия) с точностью 0,01 м/с.

*4-вес кокон:* Вес коконов указывает на приблизительное количество сырого шелка, который можно наматывать из коконов Д.Махадеваппа и др. [65-67]. В анализируемом эксперименте образец извлекают из каждого репликата, содержащего около 10 коконов. Индивидуальный вес кокона брали из каждого образца из 10 коконов и рассчитывали средний вес кокона. Вес брали в граммах.

*5-вес оболочки:* Этот параметр представляет общее количество шелка в коконе. Средний вес одной оболочки был рассчитан из 10 оболочек, используемых для оценки веса кокона.

*6-отношение веса оболочки к весу кокона:* Отношение оболочки обозначает общее количество шелка, доступного в одном коконе, и выражается в процентах. Он рассчитывается по следующей формуле.

$$\text{Коконная оболочка, (\%)} = \frac{\text{Вес оболочки кокона}}{\text{Вес всего кокона}} \times 100,$$

*7-определение высушенных куколок, %:* Внутренние коконы определяли в лаборатории Департамента защиты растений - Agric. Res. Center (ARC), станции Sakha, губернии Kafr Elsheikh. Согласно исследованиям П.Бу и др. [58], берут по 100 коконов случайным порядком из каждого образца и тщательно открывают с использованием острого ножа. Умершие куколки наблюдают и выражаются в процентах от исходного количества коконов.

В) Испытания на оценку качества шелковой нити:

1-качественные характеристики шелковых нитей включают общую длину кокон-нитей и способность коконов к катанию. Испытания проводились в лабораториях Семикультурного отдела, в институте защиты растений (Sericultural Department., Plant Protection Res., Institute, branch of Sharkhia. Agric. Res. Center (ARC)). Прочность и длина шелковых нитей были выполнены в лабораториях Египетского центра контроля качества хлопка, спиннинг исследовательский отдел. Cotton Res., Institute; (ARC), Egypt.

Для измерения общей длины шелковой нити набирают по 10 коконов при каждой обработке и размягчают замачиванием в кипящей воде. Оцененную

шелковую нить каждого кокона измеряют и определяют, используя следующее уравнение:

$$\text{Длина коконовой нити, (м)} = \frac{\text{Длина сырого шелка (м)} \cdot \text{количество коконов на каждую нить}}{\text{Общее количество намотанного кокона}},$$

*2-способность катания коконов, %:* Способность катания коконов (Reel-ability of cocoons) определялась по следующей формуле:

$$Rc, (\%) = \frac{\text{Количество коконов в катушке}}{\text{Количество концов подачи}} \times 10,$$

*3-устойчивость и длина шелковых нитей:* Устойчивость и длина шелковых нитей измерялись с использованием прибора для контроля стелометра в лаборатории тестирования волокна, CRI, ARC в соответствии с (ASTM, D-1445-75 основанный в, 1984). Прибор позволяет определить прочность при растяжении нити. Результаты посчитывают по следующей формуле:

$$SL = W_{CX} \frac{1,5}{W_S} \times 100, \%,$$

где,  $SL$  - прочность на единицу длины, %;  $W_c$  - масса резки, кг;  $W_s$  - масса образца, мг.

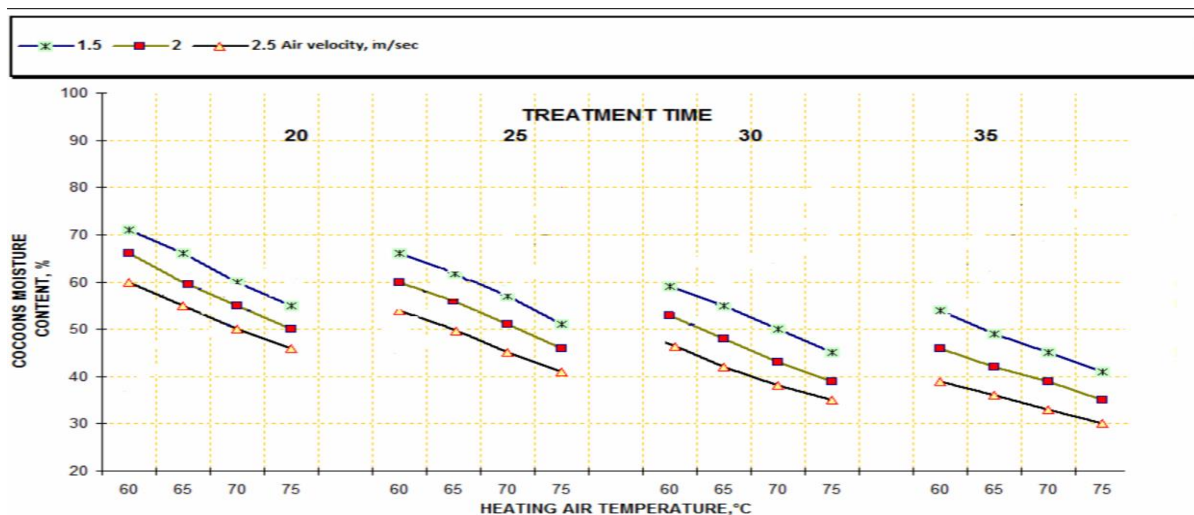
*А. Составление спецификаций коконов [55]:*

*1-Влияние температуры нагретого воздуха на содержание коконов:* Среднее содержание влаги коконов представлено на рисунке 1.7. Содержание влаги в коконах уменьшалось с увеличением температуры нагретого воздуха, времени обработки и скорости воздуха. Влияние температуры нагретого воздуха на влажность коконов показывает, что при увеличении температуры нагретого воздуха от 60 до 75 °C во время 20 минутной обработки и скорости воздуха 1,5 м/с. уменьшает влажность коконов от 71 до 55% (уменьшение на 16%), также при повышении времени обработки от 20 до 35 мин при температуре воздуха 60°C и скорости воздуха 1,5 м/сек. содержание коконов понижается с 71 до 54% (уменьшение на 17%). При повышении скорости воздуха от 1,5 до 2,5 м/с. при температуре нагретого воздуха 60 °C и времени обработки 20 минут содержание коконов снизилось с 71 до 60% (уменьшение на 11%). Результаты также показали, что самое высокое и самое низкое процентное содержание влаги в коконах составляло 71 и 30% соответственно.

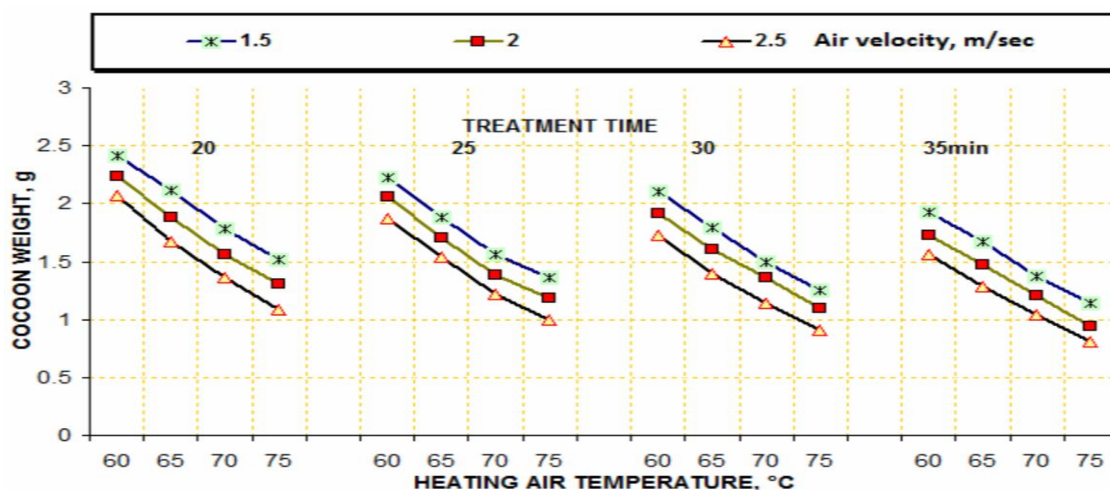
*2-вес коконов:* На рисунке 1.8 изображены данные о весе коконов, подверженных влиянию температуры нагретого воздуха, времени обработки и расхода воздуха. Известно, что увеличение температуры нагретого воздуха, времени обработки и скорости воздуха, как правило, уменьшает вес коконов. Увеличение температуры нагретого воздуха от 60 до 75 °C приводило к уменьшению веса коконов от 2,41 до 1,52 г. (36,9%) при 20 минутной обработке и скорости потока воздуха 1,5 м/с. Также, увеличивая время обработки от 20 до 35 мин при температуре воздуха 60 °C и скорости потока воздуха 1,5 м/с. уменьшаются количество коконов с 2,41 до 1,93 г (19,9%). При этом увеличивался расход воздуха от 1,5 до 2,5 м/с. при температуре нагретого воздуха 60 °C и времени обработки 20 минут уменьшается вес коконов от 2,41

до 2,07 г (14,1%). Максимальные значения веса коконов 2,41 г зарегистрированы при температуре нагретого воздуха 60 °С, времени обработки 20 мин. и скорости воздуха 1,5 м/с. Кроме того, минимальное значение веса коконов 0,81 г зарегистрировано при температуре нагретого воздуха 75 °С, времени обработки 35 мин и скорости потока воздуха 2,5 м/с.

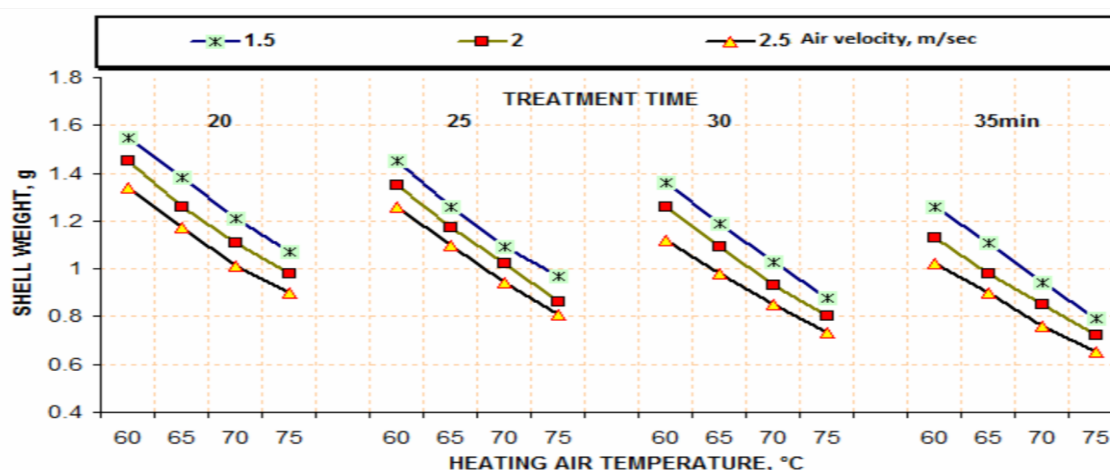
*3-вес оболочки:* полученные результаты массы оболочки разделили так, что при температуре нагретого воздуха, времени обработки и скорости воздуха происходила очистка, влияющая на массу оболочки, как показано на рисунке 1.9. Увеличение температуры нагретого воздуха, времени обработки и скорости воздуха, как показали результаты эксперимента, уменьшился вес оболочки. Повышение температуры нагретого воздуха от 60 до 75 °С привело к уменьшению веса оболочки от 1,55 до 1,07 г (31%) при времени обработки 20 мин и скорости воздуха 1,5 м/с. Также увеличено время обработки от 20 до 35 мин при температуре воздуха 60 °С и скорости воздуха 1,5 м/с. Вес оболочки уменьшился с 1,55 до 1,26 г (18,7%). Увеличение расхода воздуха составляло от 1,5 до 2,5 м/с. при температуре нагретого воздуха 60 °С и времени обработки 20 мин. Масса оболочки уменьшилось с 1,55 до 1,34 г (13,5%). Как правило, максимальные значения веса оболочки 1,55 г регистрируются при температуре нагретого воздуха 60 °С, времени обработки 20 мин и скорости воздуха 1,5 м/с. Кроме того, минимальное значение веса оболочки 0,65 г зарегистрировано при температуре нагретого воздуха 75 °С, времени обработки 35 мин и скорости воздуха 2,5 м/с.



**Рис. 1.7. Влияние температуры нагретого воздуха, времени обработки и скорости воздуха на влажность коконов, %**



**Рис. 1.8. Влияние температуры нагретого воздуха, времени обработки и скорости воздуха на вес коконов, г.**



**Рис. 1.9. Влияние температуры нагретого воздуха, времени обработки и скорости воздуха на вес оболочки коконов, г.**

*4-изменение веса оболочки:* по результатам аналитического исследования изменение веса оболочки (рисунок 1.10), показали, что вес оболочки увеличивался по мере того, как температура нагретого воздуха, время обработки и скорость воздушного потока увеличивались. Увеличение температуры нагретого воздуха от 60 до 75 °С, что приводит к увеличению веса оболочки от 64,4 до 66,3% (1,9%) во время обработки 20 минут и скорости воздуха 1,5 м/с также увеличивая время обработки от 20 до 35 минут при температуре воздуха 60 °С и скорости воздуха 1,5 м/с вес оболочки увеличился с 64,4 до 65,7% (1,3%). Увеличение скорости воздуха от 1,5 до 2,5 м/сек. при температуре нагретого воздуха 60 °С и времени обработки 20 мин вес оболочки увеличился с 64,4 до 66,4 (2%). Максимальное отношение оболочки 68,8% было зафиксировано при температуре нагретого воздуха 75 °С времени обработки 35 мин и скорости воздуха 2,5 м/с. Хотя минимальный вес оболочки 64,4% был

зарегистрирован при температуре нагретого воздуха 60 °С, времени обработки 20 мин и скорости воздуха 1,5 м/с.

5-влияние нагрева и скорости воздуха на состояние куколки: полученные результаты свидетельствуют о том, что процент умиротворенных куколок был увеличен. Максимальное значение процента погибших куколок составляло 100%, которое регистрировалось при умиротворенных содержания коконов ниже 45%, тогда как минимальный процент умиротворенных куколок был зарегистрирован при увеличении содержания коконов выше 45%. Из выше приведенного ясно, что влажность коконов имеет приоритетное значение при морке куколок.

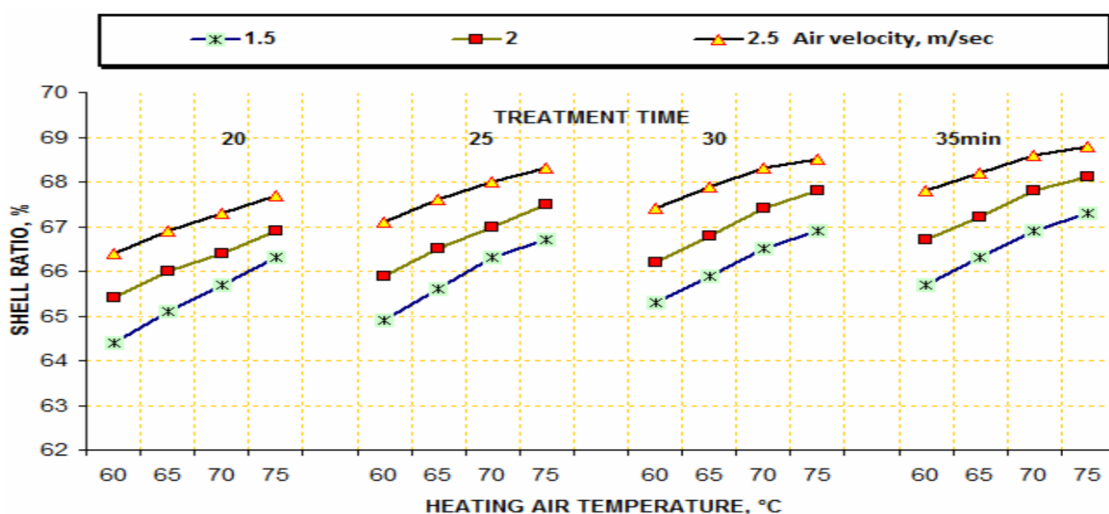


Рис. 1.10. Влияние температуры нагретого воздуха, времени обработки и скорости воздуха на коэффициент оболочки, %

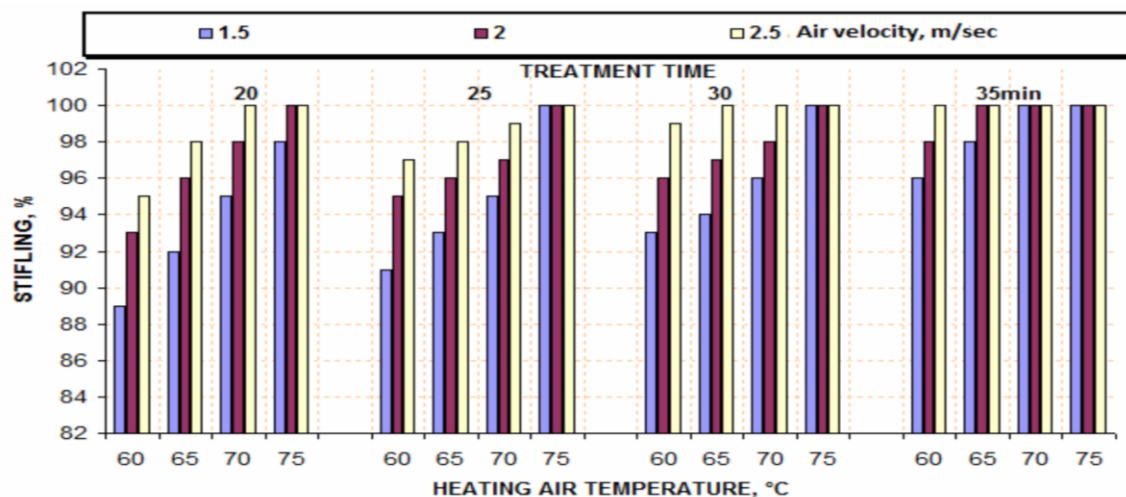


Рис. 1.11. Влияние температуры нагретого воздуха, времени обработки и скорости воздуха на коэффициент морки, %

В) Испытания по оценке качества шелковой нити [55]:

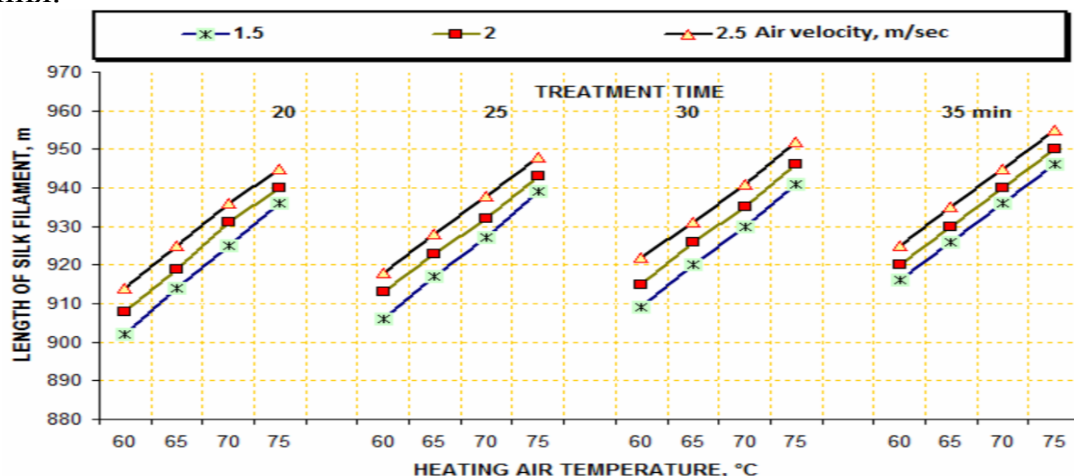
1-длина нити кокона: на рисунке 1.12 показано, что длина коконовой нити увеличивается с увеличением температуры нагретого воздуха, времени

обработки и скорости воздуха. Очевидно, что при времени обработки 20 мин, скорости воздуха 1,5 м/с, и увеличении температуры нагретого воздуха от 60 до 75 °С длина коконовой нити увеличивается с 902 до 936 м (+3,77%). Кроме того, при температуре нагретого воздуха 60°С скорость воздуха составила 1,5 м/с и при увеличении времени процедуры от 20 до 35 мин. длина коконовой нити увеличивалась с 902 до 916 м (+1,55%). Длина шелковой нити увеличивается также с 902 м до 914 м (+1,33%) при температуре нагретого воздуха 60 °С, времени обработки 20 мин и увеличении скорости воздуха от 1,5 до 2,5 м/с. Максимальная длина шелковой нити 955 м была достигнута при температуре нагретого воздуха 75 °С, времени обработки 35 мин и скорости воздуха 2,5 м/с.

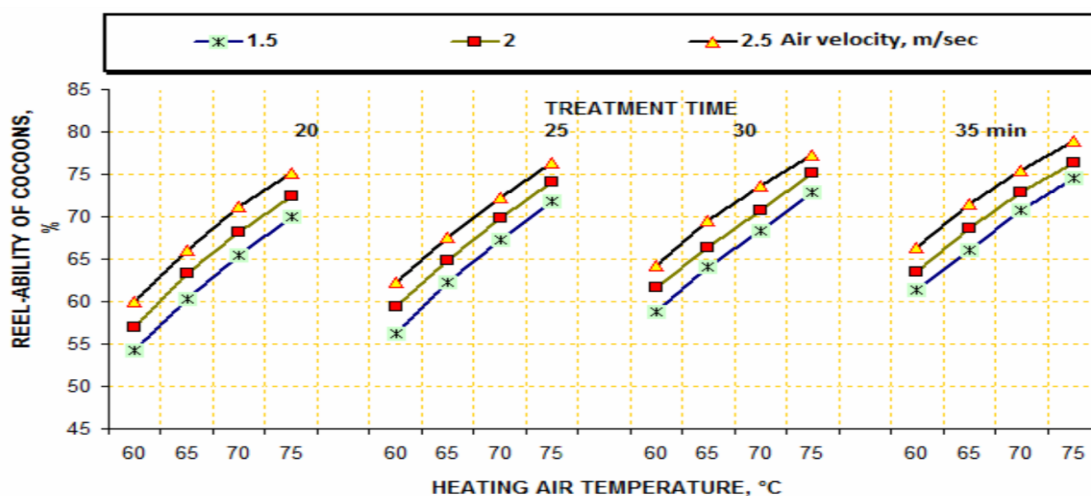
*2-катушечная способность коконов, %:* на рисунке 1.13 показано влияние температуры нагретого воздуха, времени обработки и скорости воздуха на катушечную способность коконов. Отмечено, что увеличение температуры нагретого воздуха, времени обработки и скорости потока воздуха, как правило, увеличивает способность к повторному смачиванию коконов. Повышение температуры нагретого воздуха от 60 до 75 °С показала, что это приводит к увеличению веса коконов от 54,3 до 70% (15,7%) во время обработки в течение 20 мин при скорости воздуха 1,5 м/с. Увеличение времени обработки от 20 до 35 мин при температуре воздуха 60 °С и скорости воздуха 1,5 м/с. увеличивается способность катания коконов от 54,3 до 61,3 (7,0%). Увеличивая скорость воздуха от 1,5 до 2,5 м/с. при температуре нагретого воздуха 60 °С и времени обработки 20 мин увеличена катушечная способность коконов от 54,3 до 60 (5,7%). Максимальная мощность катка 78,7% была зафиксирована при температуре нагретого воздуха 75°С, времени обработки 35 мин и скорости воздуха 2,5 м/с, в то время как минимальное значение катушечной способности коконов 54,3% фиксировывали при температуре нагретого воздуха 60 °С, времени обработки 20 мин и скорости воздуха 1,5 м/с.

*3-упругость и удлинение шелковых нитей:* на рисунке 1.14 показана средняя упругость шелковых нитей и их удлинение. Упругость шелковых нитей уменьшалась с увеличением температуры нагретого воздуха, времени обработки и скорости воздуха. Увеличение температуры нагретого воздуха от 60 до 75 °С, при времени обработки 20 мин и скорости воздуха 1,5 м/с стойкость шелковых нитей уменьшилась с 4,89 до 3,93 г/денье (19,6 %). Также при увеличении времени обработки от 20 до 35 мин при температуре воздуха 60°С и скорости воздуха 1,5 м/с стойкость шелковых нитей уменьшилась с 4,89 до 4,56 г/денье (6,7 %). Увеличивая скорость воздуха от 1,5 до 2,5 м/с при температуре нагретого воздуха 60 °С и времени обработки 20 мин прочность силикатных нитей уменьшилась с 4,89 до 4,25 г/денье (6,9%). Результаты также показали, что наивысшие и наименьшие значения стойкости шелковых нитей составляли 4,89 и 3,33 г/денье, которые определяли при температуре нагретого воздуха 60 °С, времени обработки 20 мин и скорости воздуха 1,5 м/с и при температуре нагретого воздуха 75 °С, времени обработки 35 мин и скорости воздуха 2,5 м/с соответственно. А также, удлинение шелковых нитей

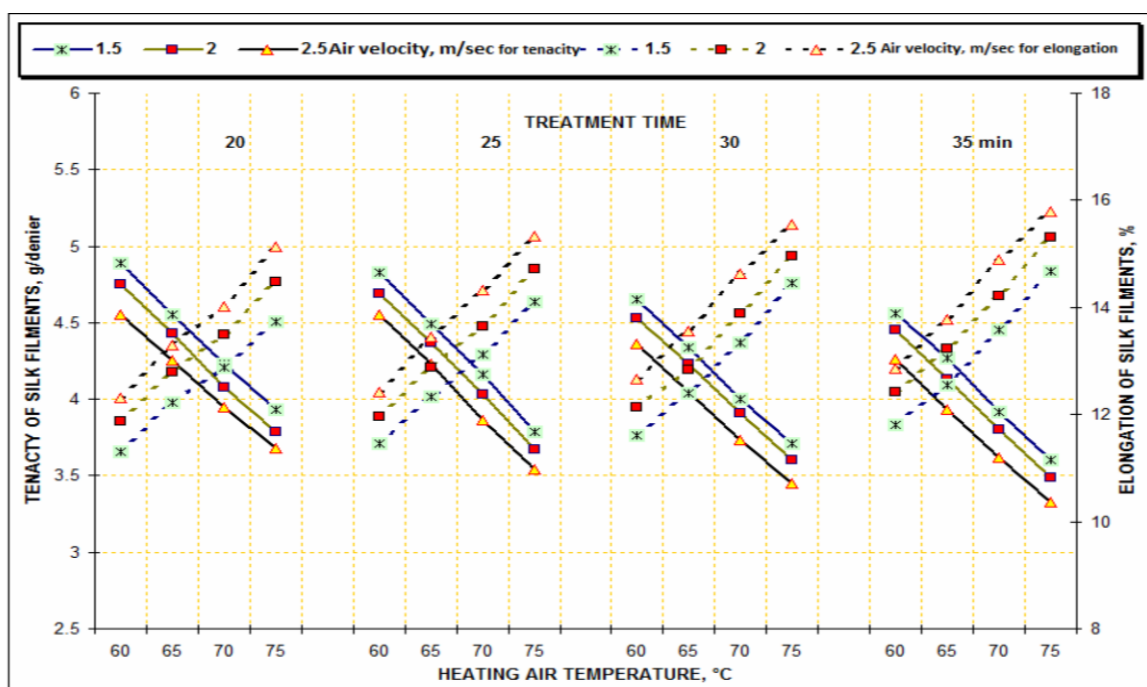
увеличивалось с увеличением температуры нагретого воздуха, времени обработки и скорости воздуха. Полученные результаты показали, что увеличение температуры нагретого воздуха от 60 до 75 °С, времени обработки 20 мин и скорости воздуха 1,5 м/с удлинение шелковых нитей увеличилось с 11,31 до 13,73% (2,42%). Также увеличивается время обработки от 20 до 35 мин при температуре воздуха 60 °С и скорости воздуха 1,5 м/с удлинение шелковых нитей увеличилось с 11,31 до 11,81% (0,5%). Увеличивая скорость воздуха от 1,5 до 2,5 м/с при температуре нагретого воздуха 60 °С и времени обработки 20 мин, удлинение шелковых нитей увеличилось с 11,31 до 12,3% (0,99%). Результаты также показали, что наибольшее и наименьшее значения удлинения шелковых нитей составляло 15,78 и 11,31%, которые регистрировались при температуре нагретого воздуха 75 °С, времени обработки 35 мин и скорости воздуха 2,5 м/с для наибольшего значения и при температуре нагретого воздуха 60 °С, времени обработки 20 минут и скорости воздуха 1,5 м/с для наименьшего значения.



**Рис. 1.12.** Влияние температуры нагретого воздуха, времени обработки и скорости воздуха на длину шелковой нити, м.



**Рис.1.13.** Влияние температуры нагретого воздуха, времени обработки и скорости воздуха на способность катания коконов, %.



**Рис. 1.14. Влияние температуры нагретого воздуха, времени обработки и скорости воздуха на прочность шелковых нитей, г/ денье и удлинение шелковых нитей, %**

### 1.3. Технология процессов морки и сушки коконов

Важным резервом повышения эффективности производства натурального шелка [50], по мнению проф. В.А. Усенко [68], М.М.Мухамедова [69] и Э.Б.Рубинова [70], является разработка эффективной технологии по использованию всех видов шелковых отходов кокономотальных фабрик. Что касается безотходной технологии переработки коконов, то по указанной проблеме ранее разработана и внедрена в проф. Х.А. Алимовой [71].

В работе С.Салимджанова проводили технологические испытания коконов в промышленных условиях урожая коконов 2007-2009 гг. результаты приведены в таблице 1.2. Чем средняя длина и диаметр поступающих коконов меньше, тем больше площадь, занятая непосредственно коконом. Условный вес коконов, отнесенный к объему (кг/мл) сырого (живого) кокона, составляет 17,338 кг, средний вес одного кокона – 1,67 г (таблица 1.2) [72].

Вес сухого кокона к его объему (кг/м<sup>3</sup>) составляет 6,449 кг или средний вес одного кокона – 0,62 г. Средняя длина кокона 32,35 мм, диаметр 17,63 мм.

Таблица 1.2

**Результаты исследования показателей сырого (живого) кокона (данные  
ООО СП «ВТ-Силк»)**

№	Калибры (диаметр), мм	Количество коконов, шт.	Удельный вес к общему количеству, %	Средняя, масса 1 кокона, г	Средний арифмети- ческий диаметр, мм	Средняя арифмети- ческая длина, мм
1.	15	364	3,50	1,05	14,53	27,4
2.	16	997	9,58	1,25	15,57	30,03
3.	17	2069	19,89	1,39	16,29	30,59
4.	18	2988	28,73	1,70	17,72	33,07
5.	19	2433	23,39	1,85	18,52	33,17
6.	20	1034	9,94	1,85	18,94	34,07
7.	21	268	2,58	2,14	20,33	35,77
8.	22	153	1,47	2,5	21,81	35,49
9.	Свыше	96	0,92	4,0	25,02	37,66
	Всего	10402	100%	1,67	17,63	32,35

С.Салимджанов проводил технологические испытания коконов в промышленных условиях в трехкратной повторности. Для чего формировали партию из сортовой смеси, собранной за один день приемки коконов, масса в каждом варианте не превышала 250 кг (таблица 1.3) [72].

I - коконы, замороженные бромметилом при средней концентрации и сушка на теневой коконосушилке;

II - коконы, замороженные на КСК-4.5 при начальной температуре 90 °С и сушка на теневой коконосушилке;

III - коконы живые (контроль);

IV - коконы, замороженные и высушенные на коконосушилке Ниппон-Консоки 2Z - 20 (опыт). Сортировка и размотка коконов всех проб проведены с соблюдением основных положений фабрично-типовой технологической карты по размотке шелка-сырца.

Анализ результатов рассортировки по внешнему показателю сухих коконов показывает, что на I, II, III вариантах обусловлено образование дефектных коконов в виде глухарей и поверхностно - пятнистых, а некоторые из них имеют особенности дырявых и плесневелых. Разматываемость коконов при контроле 78,2%, длина непрерывной разматываемости нити 579 м, при контроле 486 м, перемоточная способность характеризуется количеством обрыва на 1 кг нити 28 шт.

Таблица 1.3

**Зависимость физико-механических показателей шелка - сырца от различных способов морки и сушки коконов**

Показатели	Единица измерения	Варианты первичной обработки коконов			
		I	II	III	IV
Шелконосность	%	48,5	49,2	22,4	50,7
Выход коконов с концами при запаривании	%	61	61	58,9	67,3
Разматываемость коконов	%	64	63,8	61,6	78,2
Длина непрерывной-разматываемости нити	М	404	504	486	579
Связность шелка - сырца	Количество ходов каретки	22,2	26,2	23,6	30,7
Чистота по крупным	%	76,2	88,1	92	96,6
Коэффициент по линейной плотности	%	10	11	10	11
Перемоточная способность, в обрыв на 1	шт.	36	37	32	28

Наибольший выход с концами нитей получен на живых коконах, а коконы, заморенные бромметилом, показали более низкий выход с концами нитей. Коэффициент линейной плотности по вариантам колеблется незначительно. В то же время непрерывно разматываемая длина коконной нити наибольшая у коконов, заморенных на коконосушилке Ниппон-Консоки.

Сравнительно изучены некоторые свойства коконных оболочек и растворимость серицина коконов. Анализ связанности шелка - сырца показывает, что в коконах, заморенных на оборудовании Ниппон-Консоки на 8,5-6,8 ходов каретки превышают контрольные.

При сушке коконов подогретым воздухом теплообмен между куколкой и наружной поверхностью оболочки происходит по вынужденной конвекции (оболочку обтекает турбулентный воздушный поток), а теплообмен в замкнутом пространстве кокона происходит при естественной конвекции.

Градиент температуры направлен снаружи через оболочку внутрь кокона, а градиент влажности – от куколочки через воздушную прослойку в коконе и стенку оболочки - наружу. Поэтому для данного способа в процессе сушки характерно неравенство [73-75].

Чтобы исключить обезвоживание оболочки, отрицательно влияющее на качество кокона при сушке, необходимо стремиться к тому, чтобы удовлетворялось равенство

$$W_0^1 - W_x = 0,$$

где  $W_0^1$  - начальная (заданная - кондиционная) влажность оболочки кокона;  $W_x$  - текущая влажность оболочки кокона.

Учитывая изложенный выше применяемый режим сушки коконов, он должен обеспечивать постоянную компенсацию испарения влаги оболочки влагой, отдаваемой куколкой. Это условие наиболее полно удовлетворяется при сушке коконов в естественных условиях (теневые коконосушилки) и подогретым воздухом при температуре 60-70 °С.

При сушке с более высокой температурой после достижения критической влажности уменьшают температуру сушащего воздуха или весь процесс проводят, применяя высоко влажосодержащий воздух. Независимо от температуры сушки характер изменения кривых сушки, скорости и температуры сушки коконов одинаков. Величины же, характеризующие эти кривые, а также температура элементов коконов зависят от влажосодержания сушащего воздуха [72].

При естественной и принудительной сушке подогретым воздухом испаренная влага кокона протекает адиабатически.

Количество тепла  $Q$ , передаваемого воздухом кокону, описывается формулой

$$Q = K F t [\text{ккал}/1 \text{ г}],$$

где  $K$  - коэффициент теплопередачи от сушащего воздуха к куколке;  $F$  - тепло-воспринимающая поверхность куколки;  $t$  - разность между температурами сушащего воздуха  $T_v$  и куколки  $T_{\text{кук}}$ .

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_3}}$$

[ккал/м<sup>2</sup>ч °С или Вт/м<sup>2</sup> град]

где  $a_1$  - коэффициент теплообмена между сушащим воздухом и поверхностью шелковой оболочки в ккал/мл ч °С;  $\delta$  - толщина оболочки;  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности шелка в ккал/м<sup>2</sup> ч °С;  $a_2$  - коэффициент теплообмена между внутренней поверхностью оболочки и воздухом внутри кокона в ккал/м<sup>2</sup> ч °С;

По данным Рубинова Э.Б. (1986)  $K = 1,32$  ккал/м<sup>2</sup>ч °С или 1,54 кВт/м<sup>2</sup> град; теплоемкость шелка 0,55 ккал/кг град или 2,29 кДж/кг град; теплоемкость куколки 0,87 ккал / кг град или 3,64 кДж/кг град.

В работе С.Салимджановой [72] рассмотрена связанная вода, которая участвует в построении молекул самих веществ, ее удаление вызывает необратимые изменения и разрушения фиброина и серицина. Поэтому и вся влага оболочки кокона также не подлежит удалению. Содержание влаги кокона во многом зависит от шелконосности каждого пола куколки, среднего веса одного сырого кокона и степени сушки, в основу которой положено различие в массе коконов самок и коконов самцов. Оказалось, что чрезвычайная изменчивость массы коконов, мужских и женских особей характерна не только

для различных пород, но и проявляется в пределах одной породы. Положение о том, что коконы самок тяжелее коконов самцов, справедливо лишь в общем смысле. В действительности же нередко отмечается равенство отдельных коконов самок и коконов самцов по массе, а иногда и превосходство последних. Указанное обстоятельство не позволяет разделить безошибочно коконы по полу вследствие того, что в каждой партии имеются коконы самки с массой большей, меньшей или равной массе коконов противоположного пола. Успешное решение многих практических вопросов регуляции пола в шелководстве способствует получению в неограниченном количестве особей желаемого пола. Раннее распознавание пола у тутового шелкопряда позволяет готовить гибридную грену без примеси чистопородной и выкармливать в производстве исключительно особей мужского пола, дающих на 20-30% шелка больше.

Правильно выбранный режим морки-сушки коконов должен обеспечивать максимальную интенсификацию процесса при наименьших удельных энерго - трудозатратах на единицу полученной продукции и качества сушки, отвечающие требованиям технологии. Последнее определяется не только соответствием конечной влажности материала, но и равномерностью, улучшением физико-механических свойств перерабатываемого сырья. В лабораторных условиях в течение трех лет (2006-2008 гг.) была проверена методика установления режима сушки коконов в зависимости от пола куколки, данные испытания отражены в таблице 1.4 [72].

Технологические испытания коконов проводили в промышленных условиях в трехкратной повторности, для чего были сформированы партии сортовой смеси одного дня приемки коконов, масса коконов в каждом варианте не превышала 100 кг.

- I - (контроль) - базисный режим морки-сушки коконов;
- II - базисный режим (коконы, где преобладают гусеницы-самцы);
- III - базисный режим (коконы, где преобладают гусеницы-самки);
- IV - режим морки и сушки в зависимости от наличия гусеницы-самца;
- V - режим морки и сушки в зависимости от наличия гусеницы-самки.

При запаривании и размотки коконов, обработанных по IV и V вариантам с учетом пола гусеницы: выход коконов с концами на 5-6%, коэффициент возвращаемости коконов меньше на один раз, длина непрерывно разматываемой коконной нити на 2 и 4 м, разматываемость коконов на 8-10% больше контроля.

Показатели, полученные в процессе запаривания и размотки коконов, подвергшихся обработке по II-III вариантам существенно не отличаются от показателей контроля. Любой способ первичной обработки коконов уменьшает выход шелка-сырца по сравнению с исходными (живыми) коконами.

Таблица 1.4

## Технологические показатели коконов в зависимости от пола куколки

Показатели	Варианты первичной обработки					Разность к контролю
	I	II	III	IV	V	
Исходная влажность сырых коконов, %	171,7	169,1	178,8	169,1	178,8	
Влажность коконов после сушки (при выходе из сушилки), %	6,5	7,1	9,1	7,5	7,8	+1,+1,3
Шелконосность коконов, %:						
живых	21,96					
самки		21		21		-0,96
самец			24		24	+2,04
сухих	52,1	52,7	51,2	55,1	53	+3;+0,9
Коэффициент выхода сухих коконов из живых, %	2.68	2.58	2.62	2.60	2.61	-0,08
Выход коконов с концами нитей при запаривании, %	61	61	60.6	67	66	+6;+5
Коэффициент возвращаемости коконов при нахождении концов нити	2-4	3-4	2-4	2-3	2-3	
при размотки коконов	3-4	3-4	3-4	2-3	2-3	
Длина непрерывной разматываемой коконной нити, м	742	730	710	783	744	
разматываемость коконов, %	68,8	66,5	68,0	78,5	75,0	+41;+2
Масса размотанных коконов, сортовой смеси, кг	30	30	30	30	30	

Результаты производственных испытаний коконов после первичной обработке представлены в таблица 1.5 [72].

Из данных таблицы следует, что по IV-V вариантам выход шелка-сырца на 2,4-0,4%, коэффициент вариации по линейной плотности на 0,6-1,4%, перемоточная способность на 9-8% соответственно лучше, чем на контроле.

Таблица 1.5

**Технологические показатели шелка-сырца в зависимости от пола куколки**

Показатели	Варианты первичной обработки коконов					Разность к контролю
	I	II	III	IV	V	
Выход шелка-сырца, % от массы живых коконов	15,3	15,5	14,6	16,5	14,6	+1,2; -0,7
Выход шелка-сырца, % от массы сухих коконов	29,7	30,1	30,5	32,1	31,1	+2,4; +0,4
Линейная плотность шелка-сырца, текс	3,27	3,25	3,19	3,25	3,26	
Неровнота по линейной плотности, %	8,4	9,1	8,8	7,8	7,0	-0,6; -1,4
Перемоточная способность обр/кг	31	30	29	22	23	-9, -8
Производительность оборудование кг, т/час	130.1	122.7	130.8	145.5	144.6	+15.4+14.5
Масса размотанных коконов, мелко-средний	100	100	100	100	100	

**1.4. Установки для первичной обработки коконов**

Морить куколки можно, помещая коконы в емкости с горячим воздухом, паром, газом и т.д. Главные требования при этом краткость процесса, высокая производительность, сохранение качества оболочки коконов (технологических показателей), выдерживание инструкции техники безопасности и экологии [76-80].

В дальнейшем выявились серьезные недостатки этого, казалось бы перспективного способа морки коконов. Во-первых с шелкомотальных предприятий начали поступать претензии (рекламации) по снижению качественных технологических показателей шелка-сырца. Куколка внутри кокона, не подвергнутая как раньше тепловой обработке, загнивала и портила внутреннюю полость оболочки кокона. Во-вторых бромистый метил после использования отравлял окружающую среду и вредно действовал на обслуживающих работников. И в-третьих, одноразовое использование этого дорогого газа экономически не выгодно. В 1975-77 гг. в отделе первичной обработки коконов СКБ «Шелк» (Узбекистан) была разработана механизированная технология морки коконов бромистым метилом, с задачей сохранения природных качеств коконов и обезвреживания отработанных газов. Опытный образец установки проходил госиспытания (Р.М.Мухамеджанов) [81].

Коконь в процессе морки и сушки находились в специальной удобной для транспортировки и морки таре, в виде круглых барабанов с ребрами колесами. Барабаны с загруженными коконами легко перекачиваются, что снижает трудоемкость и решает проблему транспортировки. Это очевидно очень удачное конструктивное решение и его необходимо широко внедрять на предприятиях первичной обработки коконов (рисунок 1.15).

Однако, главный недостаток способа морки коконов бромистым метилом - снижение качества сырья, остается. Поэтому этот технический способ пока не нашел широкого внедрения в производстве. Наиболее распространенный в настоящее время технологический способ – это морка коконов в специальных установках с тепловыми камерами, (А.М.Мирзоходжаев, С.Арипов, С.И. Колинко, Ю.Л. Жерницын) [82-85].

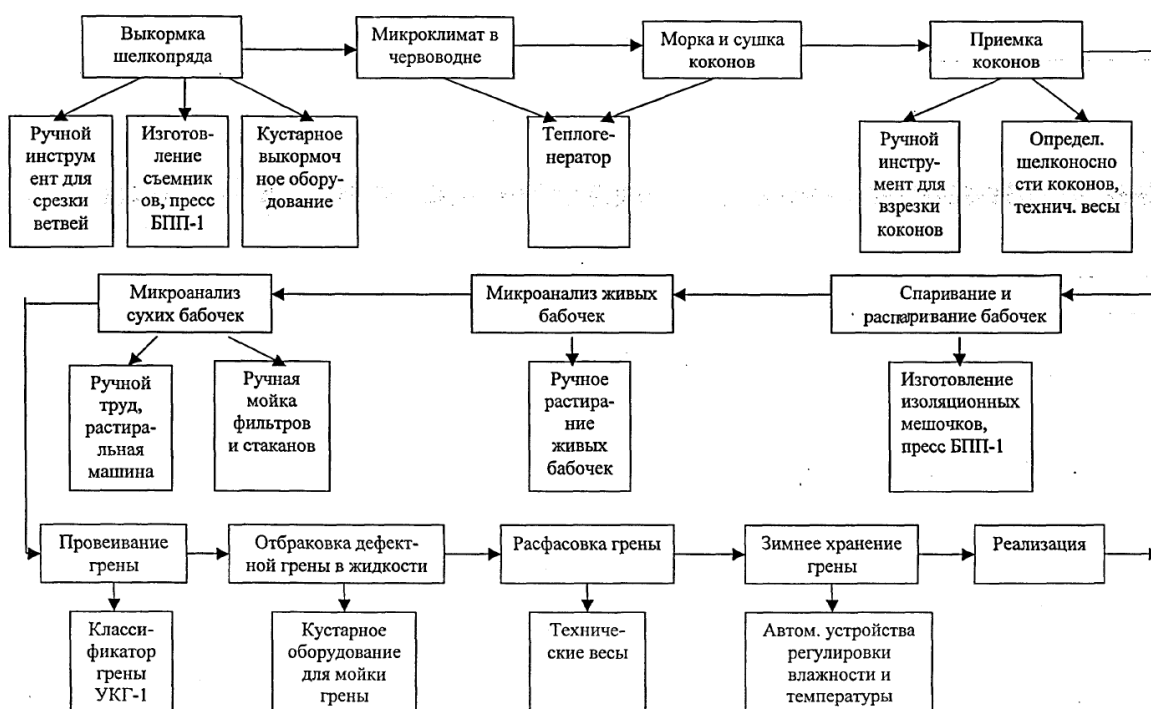
На базах первичной обработки коконов (ПОК) в Узбекистане, испытывался в 1987 году камерный агрегат КА-0,35 и в 1993 году его модернизированная конструкция - комплекс для замаривания коконов. Комплекс состоит из загрузочно-сортировочного и выгрузочного устройств, содержащих 18 коконоборников, рассчитанных на трехкратную загрузку и камерного агрегата КА-0,35 М.

Конструкция позволяет осуществлять рециркуляцию подаваемого горячего воздуха. При замаривании коконы загружают в бункер наклонного транспортера, подающего их на сортировочный транспортер, где рабочие вручную отделяют карапачах от сортовой смеси.

Отсортированные коконы при использовании наклонного транспортера попадают в коконоборник. Заполненные шесть коконоборников по рельсам электроприводом закатываются в закрываемый крышкой корпус. Посредством электропривода коконоборники медленно вращаются. Воздух, нагнетаемый вентилятором, нагревается в теплогенераторе до требуемой температуры и распределяется по коконоборникам. Горячий воздух, продувая слой коконов через оболочку, взаимодействует с куколками, нагревает их, забирая часть влаги, в результате, куколки умерщвляются. После этого происходит процесс выгрузки.

Определенный интерес представляют исследования способа морки коконов с помощью электрических камер, где загрузочной камерой служит цилиндрический электроконденсатор с рабочей межэлектродной емкостью с генератором инфранизкой частоты, и с возможностью усиления (Л.Ф.Аюпов и др., Э.М.Алиев и др.) [86-87]. Но и этот способ пока не доведен до практического уровня и требует дальнейших исследований.

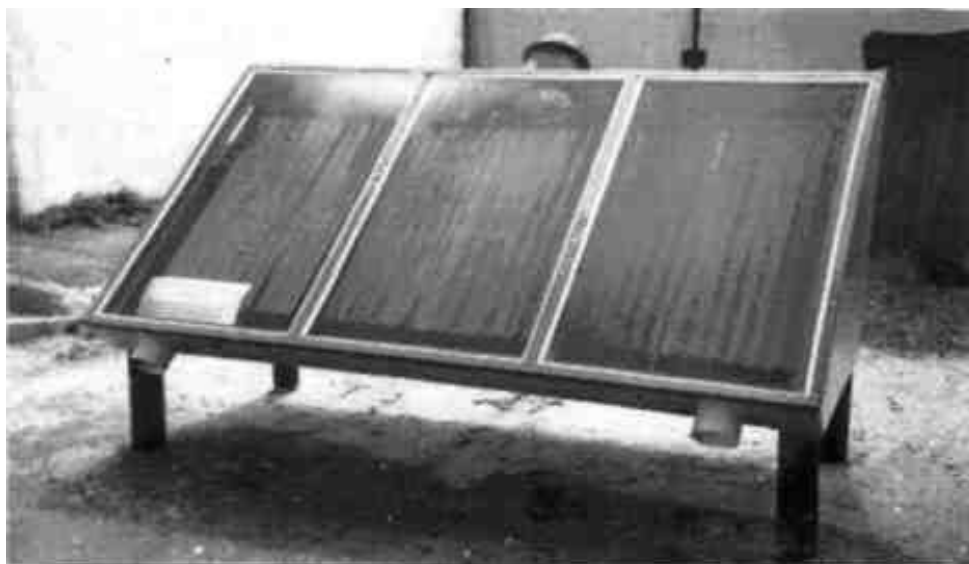
*Гелиоэлектрическая коконосушильная установка.* В.С.Бурлаковым разработаны принципиальные конструкции гелиоэлектрических установок для создания микроклимата в помещениях, морки и сушки коконов и нагревания воды для технологических процессов [76].



**Рис. 1.15. Схема основных трудоемких процессов при традиционной технологии шелководства**

Гелиоустановки для нагревания воды и воздуха (генераторы солнечной энергии) – это емкости с теплоизоляцией, обращенные на юг с целью захвата максимума энергии солнца. Нагревательные элементы (котлы) состоят из расположенных на передней стенке емкости, верхней части – рам с двухслойными стеклами и нижней – трубчатого зачерненного коллектора (для нагревания воды), притопленного на  $2/3$  диаметра в песок (аккумулятор тепла). Для нагревания воздуха нижняя стенка состоит из зачерненного гофрированного алюминия или стали, с целью увеличения площади и интенсивности поглощения тепла. Зачерненная поверхность пронизана отверстиями для сообщения с внутренней камерой емкости. Принудительная циркуляция воздуха обеспечивается электрическим вентилятором. Воздушный зазор между стеклами составляет 10-15 см. На рисунке 1.16 показан опытный образец установки.

С помощью датчиков обеспечивается автоматический контроль за тепловым режимом. Отличительной особенностью конструкции является наличие вмонтированного в коллектор внутри установки электрокалорифера, служащего для дополнительного подогрева в период недостаточного количества солнечной радиации и для прогрева установки при ее пуске. Электрокалорифер находясь в теплоизоляционной камере, работает с высоким к.п.д. и не требует большой мощности. Электроподогрев (дополнительный) работает автоматически, включаясь и выключаясь от датчика температурного режима (таблица 1.16).



**Рис. 1.16. Гелиоэлектрическая установка для нагревания воздуха (опытный образец)**

Под непосредственным воздействием солнечных лучей прочностные характеристики шелка в коконах интенсивно ухудшаются, шелковая нить пересыхает, теряет удлинение, блеск и цвет. Таким образом, сушка и морка коконов этим способом недопустима [76].

**Таблица 1.6**

**Влияние прямых солнечных лучей на прочностные характеристики шелка и удлинение нити**

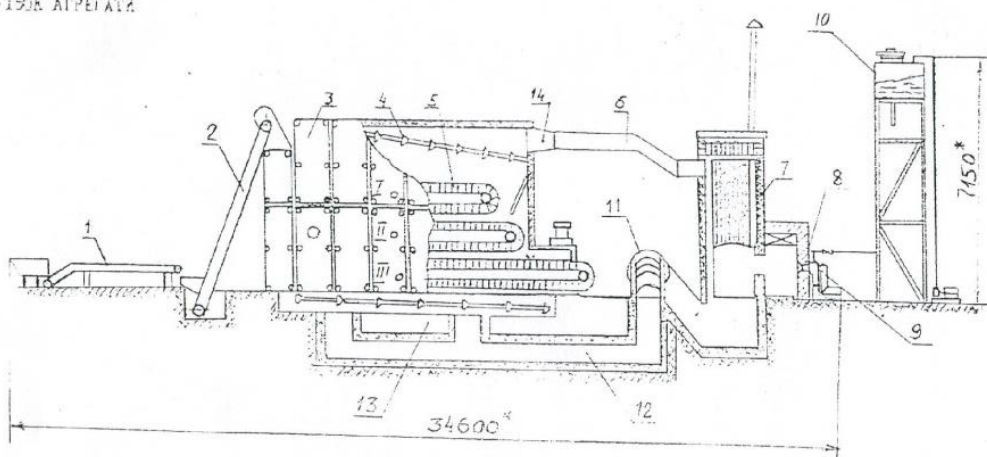
Продолжительность воздействия солнечных лучей при ср. $t=25^{\circ}\text{C}$ , мин	Прочностные характеристики			Удлинение нити, %		
	Не подвергались солнечному освещению, кг/мм <sup>2</sup>	Подвергались солнечному освещению, кг/мм <sup>2</sup>	Изменения, %	Не подвергались солнечному освещению	Подвергались солнечному освещению	Изменения
10	16,2	14,8	8,6	17,1	12,3	28,0
20	15,9	13,4	15,7	18,2	10,1	44,5
50	15,3	10,5	31,3	16,7	7,4	55,6

*Коконосушилка СК-150К.* Сушилка работает по режиму понижающейся температуры с увлажненным воздухом. Коконосушилка снабжена огневым калорифером для нагревания воздуха, сортировочным конвейером с бункером, охлаждающими вентиляторами и терморегулятором. Сушильный агент-увлажненный горячий воздух. Производительность по живым коконам 300-350 кг/час (рисунок 1.17) [88-89].

Указанные выше сушильные агрегаты изготовленные в России, были установлены в нашей Республике в 1974-1975 гг. В настоящее время эти агрегаты не выпускаются. Из-за нехватки комплектующих изделий и запасных частей в настоящее время более 50% этих агрегатов не работают. Из-за нехватки оборудования приняты живые коконы своевременно не обрабатываются, в результате чего ухудшается качество данных коконов.

Разработка новых высокопроизводительных сушильных агрегатов проводилась различными исследователями и в результате многолетних изысканий, был создан ряд опытных установок для первичной обработки коконов.

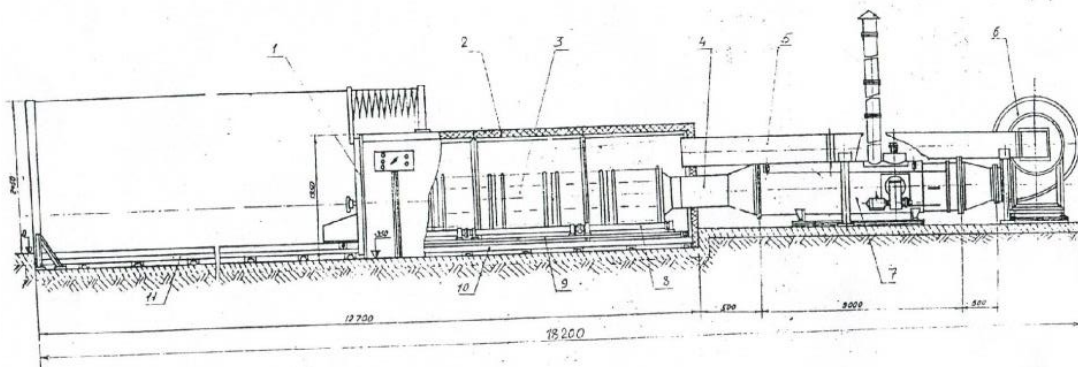
СК-150К АГРЕГАТ



1-браковочный транспортер; 2-загрузочный транспортер; 5-внутренние транспортеры; 7-огневой калорифер; 11-вентилятор

**Рис. 1.17. Конвейерный коконосушильный агрегат СК-150К**

Учеными института шелководства разработан камерный агрегат для замаривания и сушки коконов и несколько опытных вариантов внедрены в производство (рисунок 1.18) [90].



1-крышка; 2-камера; 3-коконосборники; 4-5-воздуховоды; 6-вентилятор;  
7-Теплогенератор; 8-вал вращения

**Рис. 1.18. Камерный агрегат для ПОК**

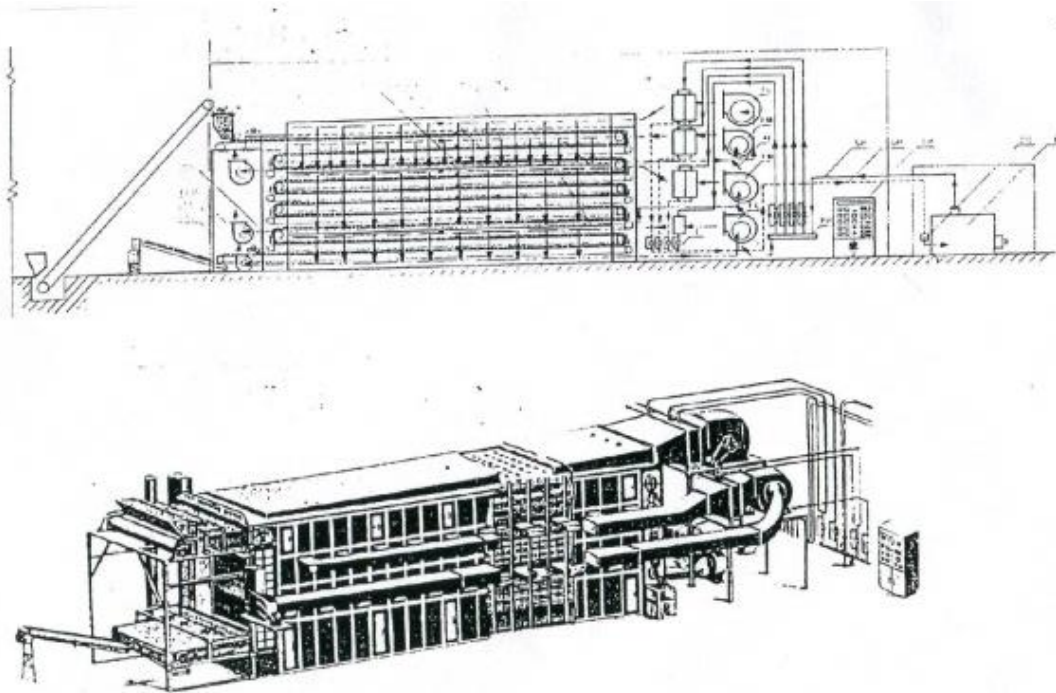
Агрегат состоит из камеры замаривания, коконоборников, тележки, теплогенератора для нагрева воздуха и вентилятора. Коконоборник представляет собой сетчатый барабан с центральным каналом, куда загружаются живые коконы. Пять коконоборников с живыми коконами загружаются в тележку и крышка закрывается. Нагретый воздух нагнетается вентилятором в центральный канал коконоборников, конец центрального канала коконоборника закрывается заслонкой. За счет созданного напора в центральном канале коконоборников, горячей воздух, пронизывая слой коконов, замаривает и сушит коконы.

Вышедший из слоя коконов, отработанный воздух всасывается вентилятором и подается в теплогенератор. Обработанные коконы с коконоборниками выгружаются из тележки и последняя загружается новыми. Цикл повторяется. Производительность агрегата 250-300 кг/час. Время обработки – 120 мин. Несколько штук этих агрегатов в настоящее время используется в производстве. Основным недостатком этих агрегатов является большой расход топлива и электро-энергии.

Описанный выше агрегат по сравнению с существующим агрегатом СК-150К, имеет высокие технико-экономические показатели, в частности менее металлоемкий, простой по конструкции и т.д. В качестве источника тепла в данном агрегате использован теплогенератор ТГ-5в, 5А. Обслуживание ТГ очень сложное, требуется высококвалифицированный специалист, он изготавливается в Белоруссии и в настоящее время при обеспечении запасными частями и комплектующими изделиями возникают проблемы.

*Коконосушилка «Ямато-Санко».* В зарубежных коконопроизводящих странах мира, как Китай, Япония для замаривания и сушки коконов используются в основном многоярусные конвейерные сушилки «Наппон-Консоки», «Ямато-Санко» и др. (рисунок 1.19) [91].

Многоярусная сушилка «Ямато-Санко» имеет три сушильных камеры-верхнюю, среднюю и нижнюю. Каждая из трех камер оборудована нагнетательным вентилятором, огневым калорифером для подогрева воздуха, воздухопроводом и вытяжным вентилятором. В зависимости от состояния сушки, в каждой стадии контроль осуществляется с пульта управления. Живые коконы подаются на самый верхний контейнер при помощи конвейера, после чего они подвергаются принудительной сушке горячим воздухом. Непрерывно перемещаясь по конвейерам от верхней к нижней ступени, высушенные коконы охлаждаются с помощью охлаждающего устройства и затем взвешиваются и укладываются в мешки (в полностью высушенном состоянии).

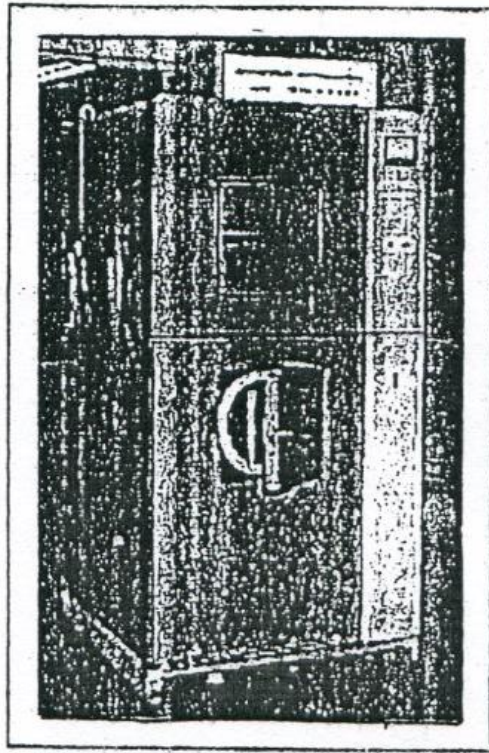


**Рис. 1.19. Коконосушилка «Ямато-Санко»**

Конструкция этих конвейерных сушилок очень сложная, а производительность очень высокая. В Японии, Китае производится многократная выкормка в год. Использование этих агрегатов в нашей республике экономически не выгодно.

*Коконосушилка СВЧ-печи.* За последние годы разработаны сушильные установки типа СВЧ. Эти СВЧ-печи предназначены для сушки, овощей, фруктов и коконов тутового шелкопряда (рисунок 1.20). Технико-экономические показатели очень высокие и соответственно очень дорогие. Использование таких агрегатов экономически невыгодно. Все вышеуказанные сушильные агрегаты для первичной обработки коконов по разным причинам не нашли широкого применения в производстве.

Из вышеизложенного следует, что перед учеными и специалистами стоит проблема, создать коконосушильные установки, простой по конструкции и обслуживанию, менее металлоемкий, и с большой производительностью.



**Рис. 1.20. Внешний вид СВЧ-печи для сушки коконов**

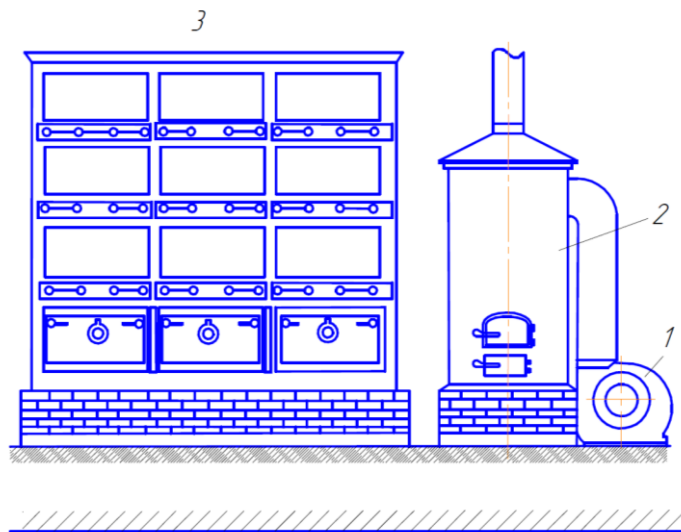
*Коконосушилки «Симплекс».* Наиболее простым типом является сушилка с общей камерой. Устройство и действие её заключается в следующем. В камеру сверху загружают коконы до полного заполнения всей камеры. Снизу прогоняют нагретый воздух. Высушенные коконы выгружают через отверстие внизу. Эта сушилка неэкономична. Она имеет сравнительно ограниченное применение и Италии.

Из ящичных сушилок наибольшее применение имеют сушилки «Симплекс», которые изготавливает завод в г.Тбилиси по типу итальянских сушилок фирмы ALEA<sup>2</sup>, и сушилки «Мультиплекс» итальянской фирмы AGE<sup>3</sup>.

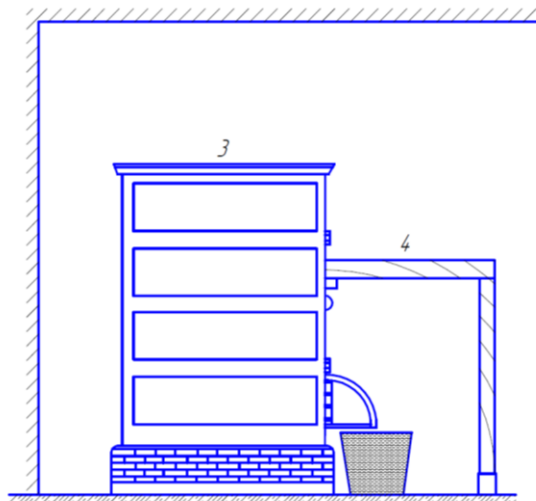
На рисунке 1.21 представлена в трех проекциях трехсекционная сушилка «Симплекс» с помостом 4 для обслуживания верхнего ящика.

Сушилка «Симплекс» состоит из трех частей (рисунок 1.21): центробежного нагнетающего вентилятора 1, жарового нагревателя 2 и сушильной камеры 3. Нагреватель 1 (рисунок 1.22) состоит из дымогарных труб 2, по которым проходят продукты горения. Между трубами 2 циркулирует нагреваемый воздух, который через канал 3 подается в сушилку 4.

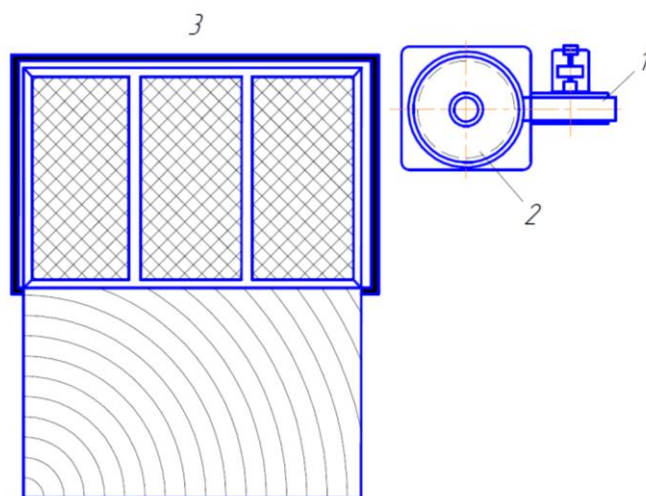
Камера сушилки металлическая, с внутренней изоляцией, и состоит из отдельных секций, имеющих по высоте четыре отделения с выдвижными сетчатыми днищами, так что при выдвигании их коконы падают из вышележащего отделения в нижележащее.



а)



б)

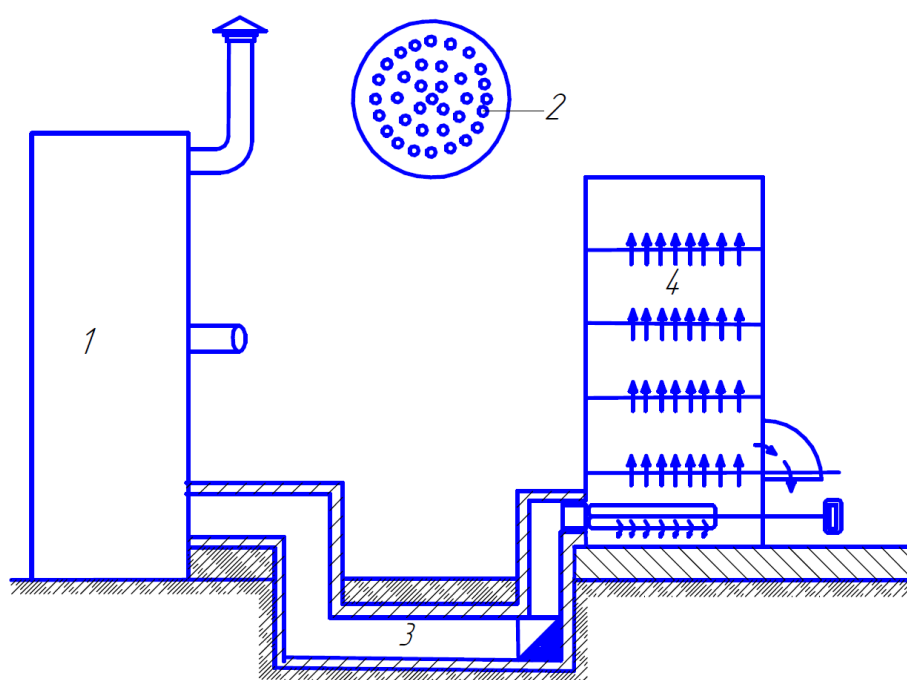


в)

*а-главный вид; б-вид сбоку; в-вид сверху.*  
**Рис. 1.21. Схема сушилки «Симплекс»**

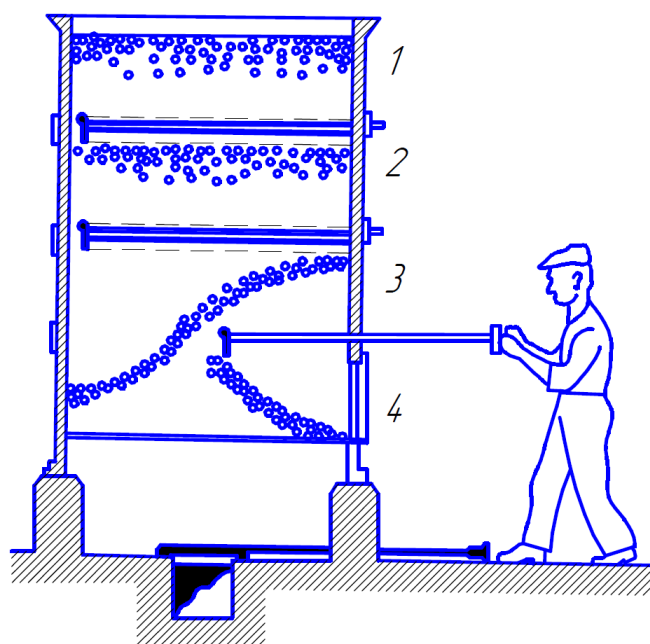
Коконсы загружают в верхнее отделение 1 (рисунок 1.23) в количестве 80 кг и последовательно, через определенные промежутки времени, перемещают из этого отделения во второе сверху, затем в третье сверху и, наконец, в нижнее, из которого и выгребают с помощью особой лопаты (рисунок 1.24). Воздух, нагретый в нагревателе 2 до 90-95°, поступает в нижнюю часть камеры, откуда поднимается вверх и при температуре в 45° выходит из верхней открытой части сушилки в атмосферу.

Сушилки «Симплекс» строят разных размеров, которые обозначаются номерами, причем номер показывает число вертикальных секций, находящихся в сушилке. Например, в сушилке №1 одна секция, в сушилке №12 – двенадцать секций и т.д. В таблице 1.7 приведены показатели, характеризующие размеры сушилки «Симплекс», их производительность и расход энергии (по данным фирмы ALEA).



**Рис. 1.22. Схематический разрез сушилки «Симплекс»**

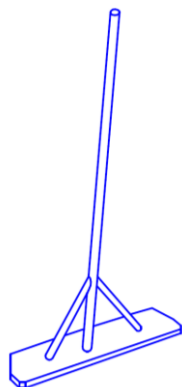
Продолжительность полной сушки – 12-15 час. Выгрузка коконов из нижнего отделения производится через 3-4 часа. При полусушке коконы из нижнего отделения выгружают через 1,5-2 часа, а при замаривании – через каждые 50 мин, так что в первом случае продолжительность пребывания коконов в сушилке составляет 5-7 час, а во втором – 3 часа. Оба эти процесса – полусушка и замаривание – применяются в том случае, если количество поступающих на сушку коконов превышает пропускную способность сушильной установки или если в размотку поступают полусухие коконы.



**Рис. 1.23. Схема перемещения коконов в сушилке «Симплекс»**

Заморенные коконы, а также полусухие коконы, не поступающие сразу в размотку, досушиваются на стеллажах теневой сушилки.

Сушилка работает круглые сутки, поэтому перед началом сезона она должна быть приведена в полную исправность, снабжена всеми необходимыми материалами, инвентарем, инструментами и испытана на холостом ходу в течение нескольких часов (4-5 час). Во время работы необходимо особенно внимательно следить за температурой входящего и выходящего воздуха, так как при сильном повышении температуры входящего воздуха может произойти пережог коконов, особенно при жаровом нагреве воздуха, а повышение температуры выходящего воздуха указывает на неправильное использование тепла сушилкой.



**Рис.1.24. Лопата для выгребания коконов**

Сушилка «Симплекс» является весьма простой по конструкции, но недостаточно механизированной. Жаровой нагреватель исключает необходимость иметь паровой котел, и поэтому данная сушилка может быть

установлена на любом заготовительном пункте, где нет парового котла, но при жаровом нагреве воздуха возможен перегрев и пережог коконов. Отсутствие механического переноса коконов из одного отделения в другое осложняет обслуживание, увеличивает потребность в рабочей силе, ставит весь технологический процесс в зависимость от внимания и четкости работы обслуживающего персонала.

**Таблица 1.7.**

**Характеристика сушилки «Симплекс»**

№	Показатели	Номера сушилок							
		0	1	2	3	4	6	8	12
1	Производительность в течение 24 час. При $t=95^{\circ}$ и непрерывной работе (в кг сырых коконов)	300	650	1300	1900	2500	3900	5000	7500
2	Диаметр отверстия вентилятора (в мм)	250	400	400	500	500	500	500	700
3	Число об/мин вала электромотора	1000	1000	1000	900	900	800	800	700
4	Мощность мотора (в л.с.)	0,5	1	2	3	4	5	6	7
5	Размеры сушильной камеры (в м): ширина высота длина	4,5 2,0 0,7	4,5 2,8 0,9	4,5 2,8 1,8	4,5 2,8 2,7	4,5 2,8 3,6	4,5 2,8 5,4	4,5 2,8 7,2	4,5 2,8 10,8
6	Расход условного топлива в сутки (в кг)	60	100	200	270	350	550	800	1200
7	Расход пара в сушилке при паровом калорифере (в кг/час)	20	35	60	0	110	170	220	350

*Коконосушилки «Электроника ТКШ-50».* Коконосушилка «Электроника ТКШ-50» состоит из трех основных частей: комплексированного источника СВЧ-энергии (КИЭ-2); волноводного тракта; технологической части (рисунок 1.25) [88].

В качестве генератора СВЧ-колебаний в комплексированном источнике энергии КИЭ-2 используется магнетрон М-111 мощностью 50 кВт, работающий на частоте 915 МГц (таблица 1.8).

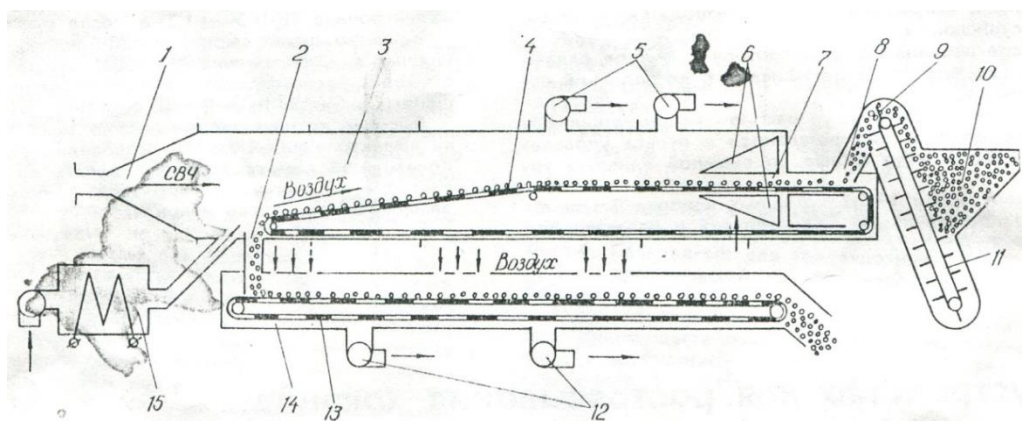


Рис. 1.25. Схема коконосушилки «Электроника ТКШ-50»

Таблица 1.8.

Техническая характеристика коконосушилки «Электроника ТКШ-50»

№	Наименование	Измерения
1	Производительность, кг/ч	
	при замаривании с подсушкой	300-500
	при полной сушке	60-100
2	Максимально допустимая температура нагрева коконов, °С	70
3	Остаточная влажность коконов при полной сушке, %	10-14
4	Время нахождения коконов в СВЧ-поле камеры замаривания и сушки (регулируемое), мин	5-30
5	Время нахождения коконов в камере охлаждения-досушки (регулируемое), мин	20-60
6	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	
	приточной вентиляции	1000-3500
	вытяжной вентиляции камеры замаривания и сушки	1000-3500
	камеры охлаждения	2000-3500
7	Потребляемая мощность, кВт, не более	120
8	Частота генерируемых колебаний, МГц	915±25
9	Мощность СВЧ-энергии (регулируемая), кВт	до 50
10	Срок службы установки (с учетом замены генераторной лампы, проведения профосмотров, текущего ремонта), ч, не менее	10000
11	Габаритные размеры, мм	
	длина (с электрооборудованием)	20000
	ширина	1000
	высота	2000
12	Масса, кг, не более	6000

Технологическая часть коконосушилки состоит из пульта управления, дозатора с загрузочным бункером и ленточным транспортером; камеры нагрева с ленточным транспортером, оконечной водяной нагрузкой и системой вытяжной и приточной вентиляции с калорифером, камеры охлаждения – досушки с ленточным транспортером и системой вытяжной вентиляции, механизмов привода транспортеров.

Подлежащие термообработке коконы засыпаются в загрузочный бункер 10 дозатора, откуда транспортером 11 поднимаются и поступают через входное окно 8 в камеру замаривания и сушки 3 [88].

Скорость движения транспортера дозатора регулируется в пределах, обеспечивающих подачу необходимого количества коконов при любом режиме работы коконосушилки. Металлические планки 9 на транспортере дозатора одновременно выполняют роль дополнительной защиты от излучения.

Камера замаривания и сушки коконов представляет собой прямоугольный волновод увеличенного сечения  $800 \times 400$  мм, в котором с помощью пирамидального ротора возбуждается бегущая волна основного типа  $H_{10}$ . Силовые линии электрического поля волновода проходят параллельно рабочей плоскости ленты транспортера, что обеспечивает равномерность энергоподвода к слою коконов по ширине ленты.

Обратная ветвь ленты расположена вдоль нижней стенки волновода, где напряженность электрического поля близка к нулю, что предотвращает возможность перегрева её при длительной работе коконосушилки.

В конце камеры, противоположном рупору, установлена оконечная водяная нагрузка 6, обеспечивающая хорошую связь камеры нагрева с генератором. Она состоит из двух секций – верхней и нижней, каждая из них представляет собой каркас из радиопрозрачного материала с намотанной на нем полиэтиленовой трубкой, по которой протекает вода. Двухсекционная конструкция нагрузки позволяет ленту транспортера с коконами вводить через зазор между секциями нагрузки 7 в зону максимальной напряженности поля по сечению камеры, что обеспечивает полное использование СВЧ-энергии. Одновременно нагрузка выполняет роль основной защиты от проникновения СВЧ-энергии во внешнюю среду через пространство ввода коконов в камеру замаривания и сушки [88].

Внутри камеры замаривания и сушки расположен ленточный транспортер 4 из лавсановой сетки шириной 400 мм, состоящий из горизонтального и наклонного участков. Первый расположен вдоль оси камеры в зоне максимальной (по сечению) напряженности электрического поля, что позволяет интенсифицировать начальные этапы процесса термообработки коконов, второй составляет с осью камеры угол порядка  $4^\circ$ , что обеспечивает хорошее согласование загруженной рабочей камеры с генератором и предотвращает возможность перегрева высушенных коконов на последнем этапе термообработки, поскольку по мере удаления ленты транспортера от оси камеры интенсивность поля уменьшается. Около конца наклонного участка

транспортера, в нижней стенке рабочей камеры, находится окно 2 для вывода коконов из камеры.

Конструктивно камера нагрева состоит из пирамидального рупора – возбuditеля, пяти волноводных и одной приводной секций, сечением 800×400 мм, соединенных между собой фланцами с контактными пластинами между ними.

В нижней стенке камеры, кроме окна вывода коконов, имеется окно для подачи горячего воздуха, нагнетаемого центробежным вентилятором и подогреваемого калорифером 15. В верхней части камеры установлены вытяжные вентиляторы 5. Во всех секциях камеры на боковой стенке расположены люки для осмотра и ремонта.

На начальном участке горизонтальной части конвейера в камере нагрева происходит быстрое повышение температуры куколок до 80 °С и их замаривание. Выделяющийся из куколок насыщенный пар создает в коконах повышенное давление и проходит через оболочку на их поверхность, откуда легко удаляется потоком горячего (не более 60 °С) воздуха.

По мере уменьшения влажности куколок коэффициент поглощения ими СВЧ-энергии снижается, однако встречное направление движения транспортера и бегущей волны обеспечивает высокую эффективность процесса сушки на всем горизонтальном участке транспортера.

Поступившие на наклонный участок транспортера подсушенные коконы постепенно выводятся из зоны максимальной напряженности поля и в конце участка ссыпаются через окно на полотно транспортера камеры охлаждения – досушки 14, расположенной непосредственно под камерой нагрева (замаривание и сушки) и состоящей из семи секций сечением 400×400 мм, соединенных между собой фланцами. Внутри камеры проходит ленточный транспортер 13 из лавсановой сетки. Снизу, под второй и четвертой секциями камеры досушки установлены вытяжные вентиляторы 12, а сверху, над первой, третьей и пятой секциями – сетчатые окна для забора воздуха. Транспортер в камере охлаждения движется навстречу транспортеру камеры нагрева, так что загрузка и выгрузка коконов производятся на одном конце коконосушилки [88].

По мере перемещения по транспортеру в камере охлаждения коконы охлаждаются и досушиваются до заданной остаточной влажности.

Управление технологической частью коконосушилки и контроль за её работой осуществляются с пульта управления, выполненного в виде шкафа со съемной панелью управления.

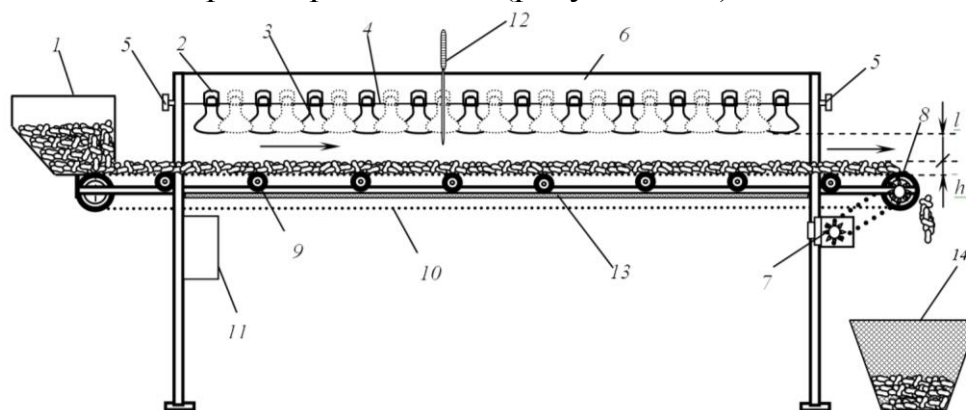
На СК-150 К температура теплоносителя на входе составляла 118-122 °С, длительность сушки - 5 ч, влажность теплоносителя под вторым слоем коконов – 33%. На коконосушилке «Электроника ТКШ-50» поддерживали следующие параметры сушки: подводимая мощность СВЧ-энергии – около 50 кВт, скорость движения транспортера камеры замаривания и сушки – 0,526 м/мин, общая длительность сушки – 19 мин, температура подаваемого воздушного потока – 45-50 °С.

При сушке коконов выход шелка-сырца в коконосушилке на оборудовании «Электроника ТКШ-50» был выше на 0,95 абсолютно %, и на 3 относительно %, что позволило уменьшить расход на выработку 1 кг шелка-сырца воздушно-сухих коконов на 90 г, или живых коконов на 280 г. При этом оболочки коконов сохраняли свои нативные свойства. Так, у живых коконов дисперсность серицина оболочки составляла 1,1; после «Электроника ТКШ-50» -1,2, а после сушки в СК-150 К-2,3.

Качество шелка-сырца, выработанного из коконов, высушенных в «Электроника ТКШ-50», выше; шелк-сырец был оценен 1 сортом, тогда как шелк-сырец из коконов, высушенных в СК-150 К, -II и III сортами [88].

*Усовершенствованный коконосушилка СК-150К.* В работе К.Р.Авазова рассмотрен усовершенствованный имеющийся агрегат СК-150К с новым устройством с применением инфракрасных лучей. В настоящее время на базах по первичной обработке живые коконы предварительно обрабатывают горячим воздухом. Основной действующей частью коконосушилок является агрегат СК-150К, который используется в режиме замаривания (под сушкой) при температуре 110-120 °С в течение 1,5-2,0 часов. В результате предварительных научных исследований ученым К.Р. Авазовыми, было установлено, что подходящим вариантом для морки коконов является воздействие инфракрасных лучей [92-97].

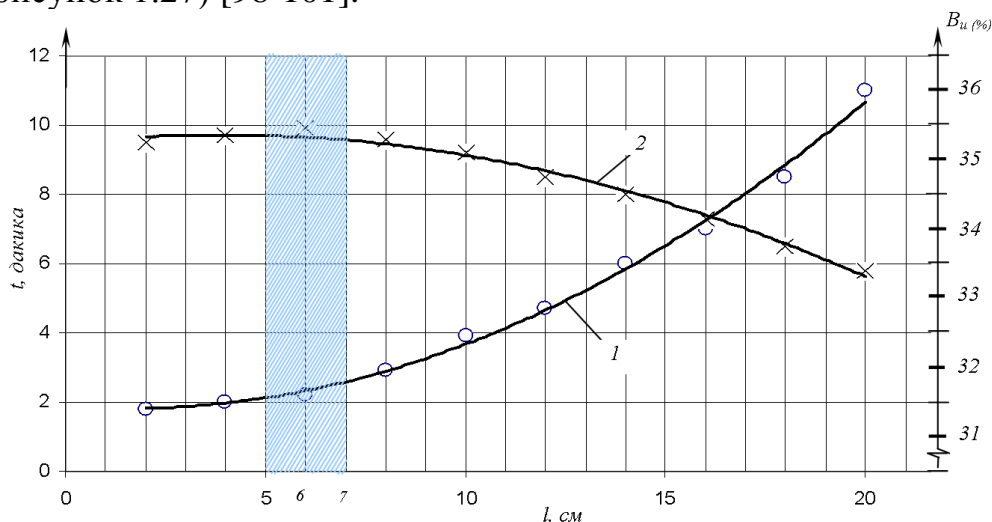
В работе К.Р.Авазова были проведены глубокий литературный обзор и начальные эксперименты, которые показали, что необходимо создавать максимальную длину волны 1,1 мкм для первичной переработки коконов тутового шелкопряда. Было создано новое устройство для морки коконов с применением на основе влияния такой же длиной волны ИКЗ которое на сегодняшний день широко применяется (рисунок 1.26) [98-101].



- 1-бункер для загрузки живых коконов; 2-керамический патрон; 3-лампы;  
 4-горизонтальная рама; 5-регулировочный винт рамы; 6-рабочая камера;  
 7-электродвигатель; 8-основной вал; 9-вспомогательный вал; 10-конвейер;  
 11-электроцит; 12-термометр; 13-зеркальный отражатель лучей;  
 14-корзина для сбора уморенных коконов

**Рис. 1.26. Технологическая схема устройства морки живых коконов с помощью инфракрасных лучей**

В ходе исследования К.Р.Авезова было исследовано влияние расстояния между коконом и лампой ( $l$ ) на устройстве на смертность коконов. В результате, было определено расстояние 6 см и время морки 3 минуты, видно, что технологические свойства коконовой оболочки сохранились на высоком уровне (рисунок 1.27) [98-101].



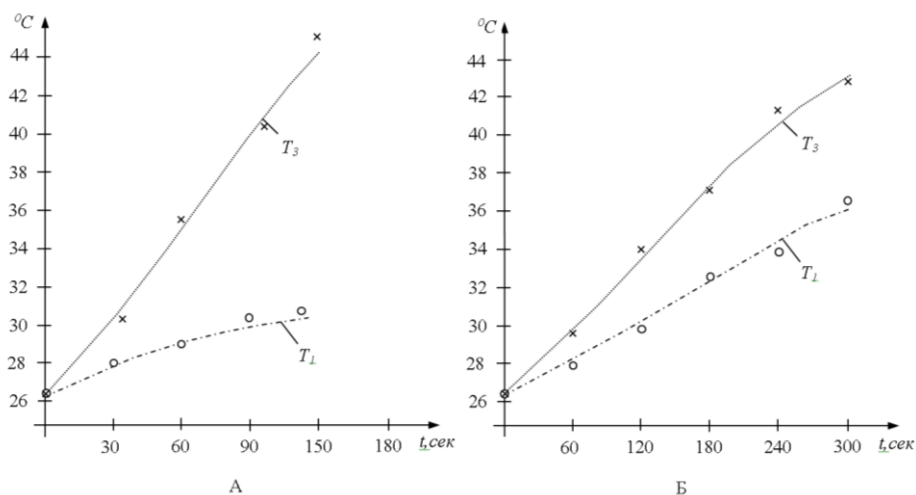
1-полное умиротворение коконов; 2-сырые коконы.

**Рис. 1.27. Зависимость времени ( $t$ ) получения уморенных и сырых коконов ( $B_u$ ) от расстояния лампы ( $l$ ) (эксперимент)**

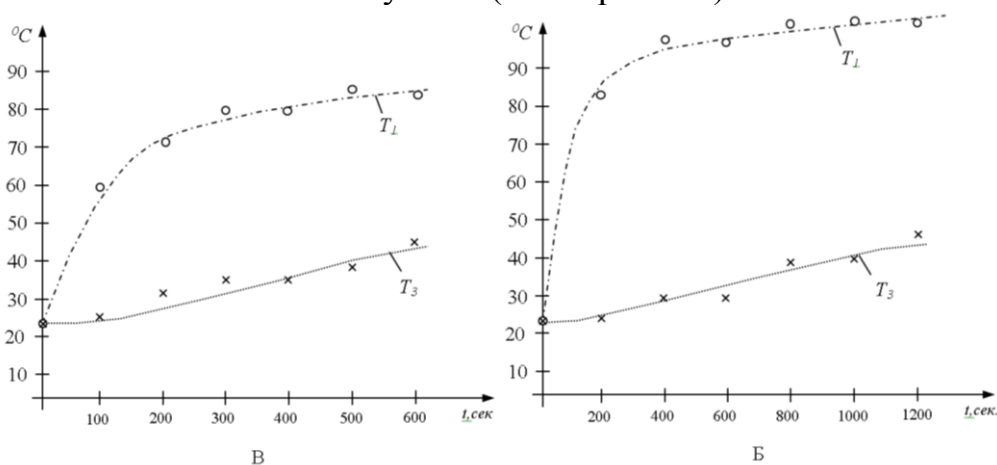
Результаты экспериментов показали, что можно аппроксимировать зависимость времени морки заморенных ( $y$ )-коконов от расстояния  $l$  ( $y=0,026x^2-0,0808x+1,8783$ ), ( $x$ )-ламп и времени морки коконов вышедших сырыми. Соответствие достоверности параметров составляет ( $R^2=0,9638$  и  $R^2=0,9400$ ).

Сегодня в нашей стране морку сырых коконов производят при помощи горячего воздуха, и это остаётся единственным методом сушки и морки кокона. Однако, строение кокона не позволяет прямое падение тепла на него из-за содержания в нём воздуха. В результате тратится много времени на создание высокой температуры и на его морку и испарение содержащейся жидкости в коконе. А это в свою очередь приводит к изменению естественных свойств кокона.

Для определения вышесказанного был выполнен эксперимент с коконом рода «Ипакчи-1» одного калибра по 50 кг образцов в вариациях. Варианты коконов умиротворяли, сравнивая время в разработанной установке с применением ИК-лучей и существующей установкой в лаборатории при температуре 90 °С. Полученные результаты показали, что применение ИК-лучей по отношению применения горячего воздуха сокращает время сушки и морки. Этот эксперимент потребовал практического определения частей обрабатываемых коконов в сушилке.



А и Б-образцы коконов, отобранных по калибрам Т<sub>1</sub>-кора кокона; Т<sub>3</sub>-кокон  
 Рисунок 1.28 – Изменение температуры составных частей кокона при обработке с ИК-лучами (Эксперимент)



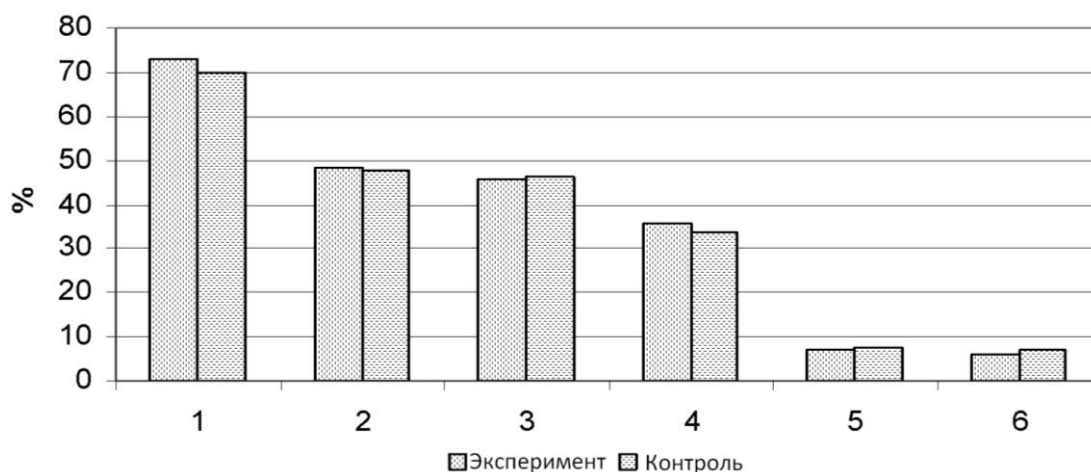
А и Б- образцы коконов, отобранных по калибрам; Т<sub>1</sub>- кора кокона; Т<sub>3</sub>- кора кокона

**Рис. 1.29. Изменение температуры составных частей кокона при обработке конвекцией (Контроль)**

В течение всего периода процесса эксперимента температуры оболочки кокона измеряли с помощью специально оборудованного прибора КСП-4 термометром хромовой иглы (рисунок 1.28-1.29).

Проведенные практические эксперименты совпадали с значениями проведенных расчетов.

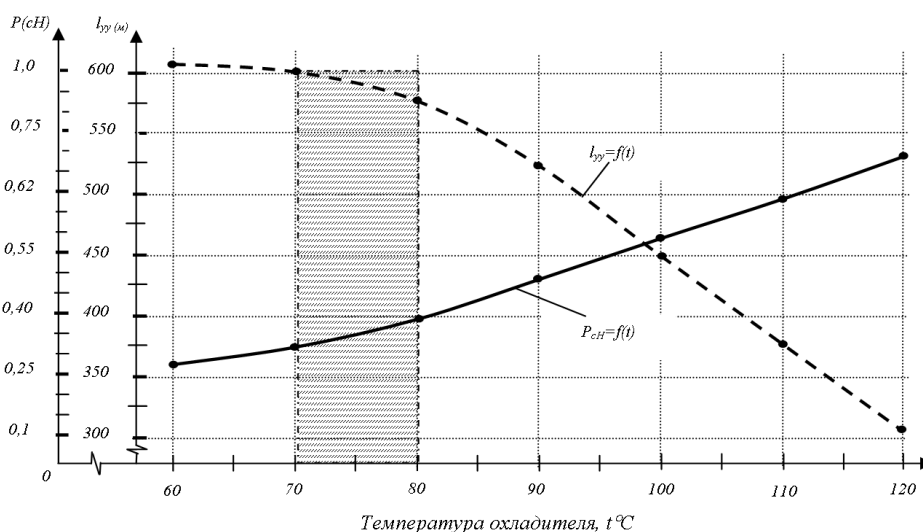
Далее экспериментальные и контрольные варианты коконов досушивали до 10% кондиционной влажности в тени. В результате были определены технологические показатели каждого образца с устройством “шелко пыхтелкой” (рисунок 1.30).



1-запутанность; 2-общее количество шелкового продукта; 3-кокон;  
4-вышедшие сырые коконы; 5-оболочка; 6- лось кокона

**Рис. 1.30. Технологические показатели умеренных коконов различными способами**

По рисунку видно что в экспериментах получение шелка составляло 35,5%, запутанность 73,2%. В экспериментах эти данные показали следующее: в соответствии с экспериментом 33,5% и 69,9%. Данное состояние свидетельствует о том, что продолжительная обработка при высоких температурах коконов приводит к его технологически отрицательным показателям.



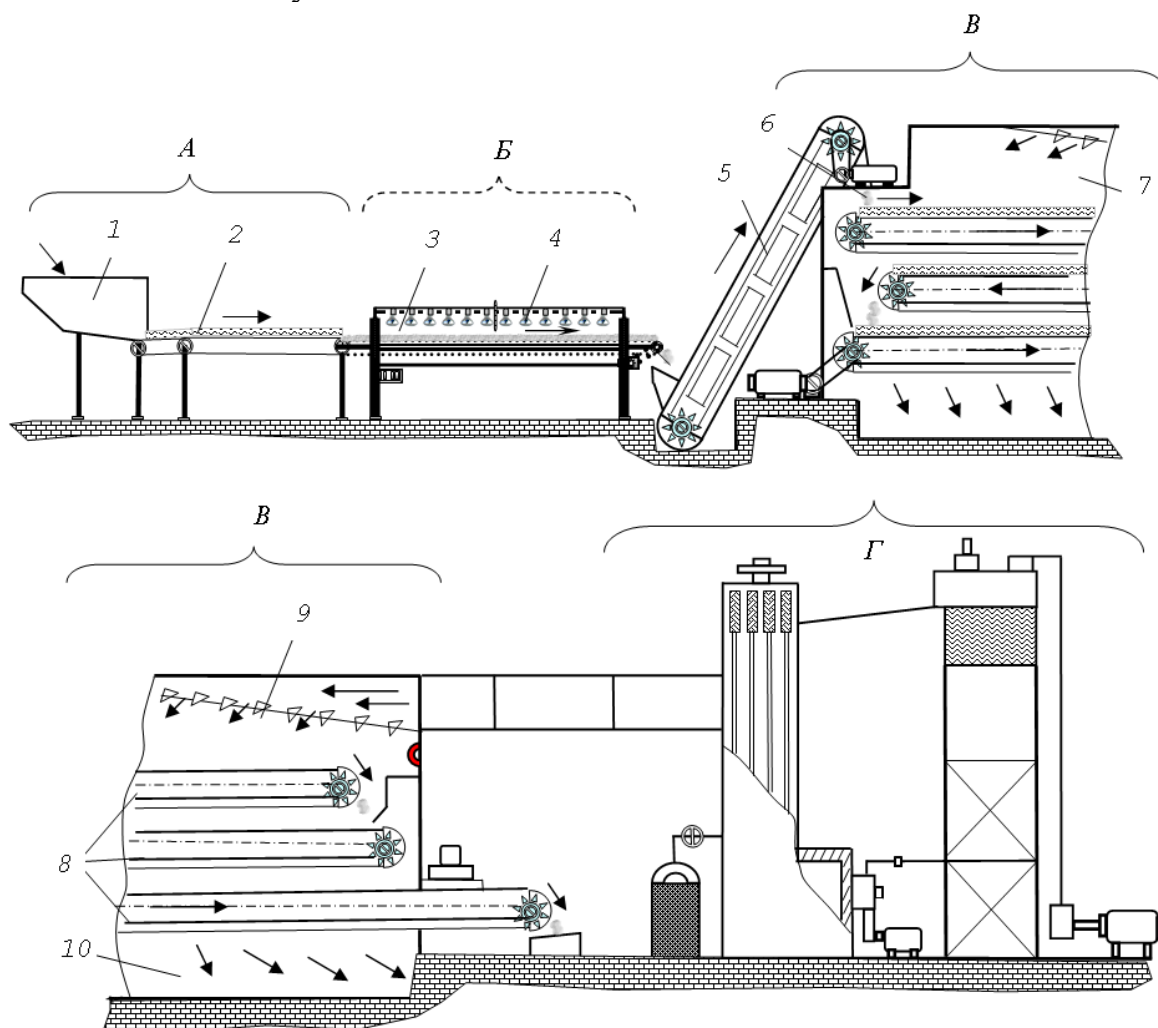
**Рис. 1.31. Сила адгезии разделения (P) нити от оболочки умиротворенных коконов и влияние ее на непрерывную длину нити (L<sub>yy</sub>)**

В дальнейших исследованиях была измерена рациональная температура непрерывной сушки в горячем воздухе. Экспериментальные живые коконы обрабатывались в новой установке и уже в определенном порядке. Затем продолжали обработку в существующей кондиционной установке при температуре от 60 до 120 °C, при каждом поднятии температуры на 10 °C обработка проходит в течение 150 минут. Коконы в контрольных вариациях обрабатывались по вышеприведенному порядку без умиротворения. В

результате стало известно, что коконы контрольного варианта теряли 67,33% от начальной влажности. А в экспериментах показано, что этих данных (68,61%) можно достичь при использовании 80 °С горячего воздуха [98-101].

Для изучения влияния технологических свойств оболочки при сушке разных температур были определены непрерывная длина и оставшая часть проверялась на силы адгезии разделения (рисунок 1.31).

Результаты показывают, что обработка коконов при высокой температуре приводит к уменьшению непрерывности длины нити. Исходя из результатов исследования, были получены рекомендации по режиму сушки с использованием ИК-лучей.



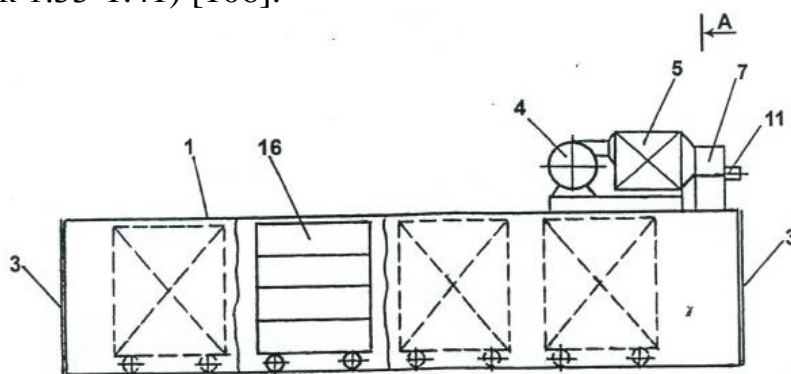
*А-отдел загрузки и сортировки; Б-отдел умиротворения живых коконов с использованием ИК-лучей (новая установка); В-отдел сушки уже умеренных коконов; Г-блок обеспечения горячим воздухом. 1-бункер загрузки; 2-сортировочный конвейер; 3-рабочая камера новой установки; 4-ИК-лампы; 5-загрузочный транспортёр с наклоном; 6-умеренные коконы падающие в сушильную камеру; 7-сушильная камера; 8-верхние, средние и нижние конвейеры в сушильной установке; 9-распределитель горячего воздуха; 10-всасывающая труба использованного воздуха.*

**Рис. 1.32. Технологическая схема усовершенствованного агрегата СК-150К**

Далее в работе К.Р.Авезова изучались режимы других коконосушилок конвейерного типа как Ямато-Санко и других, в результате технология существующего агрегата СК-150К была усовершенствована. Для этого были внесены дополнения в виде ИК-излучателей (рисунок 1.32) [102-105].

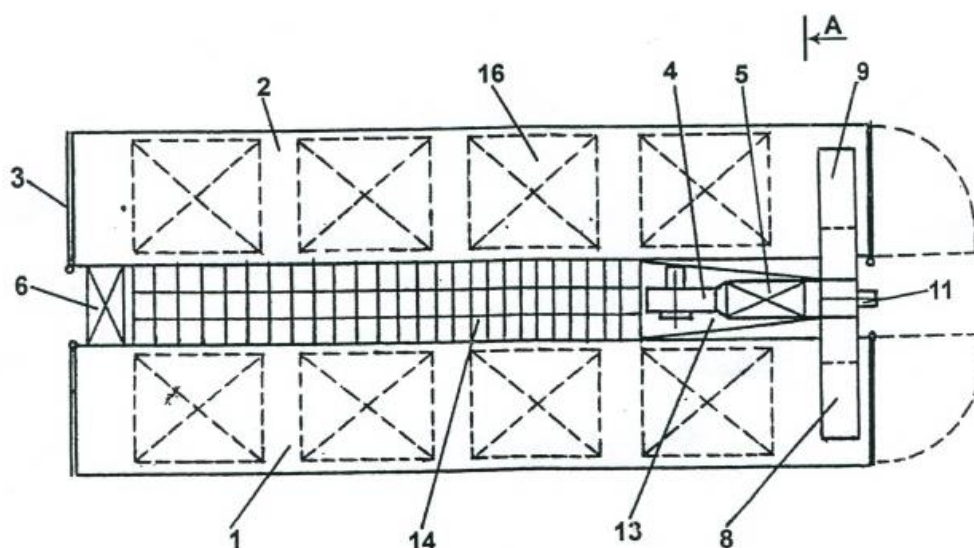
*Устройства для морки и сушки коконов тутового шелкопряда.* В работе профессора З.С.Искандарова [106] рассмотрено устройство для морки и сушки коконов тутового шелкопряда. В устройстве для сушки сельскохозяйственных продуктов, содержащем два параллельно расположенных рабочих корпуса, продуктовые тележки, вентилятор, основной и расположенный между корпусами дополнительный электрокалорифер и воздухораспределительный коллектор, последний выполнен в виде Λ-образной фигуры с низходящими двумя рукавами, сообщающимися с нижними концами с каждым из рабочих корпусов, а верхними примыкают к камере подачи воздуха, при этом в месте схождения рукавов установлен поворотный флюгерный затвор и предусмотрены сквозные окна, сообщающиеся с патрубком отвода обработанного воздуха, а продуктовые тележки выполнены многоярусными с установленными на них сетчатыми поддонами, над каждым из которых смонтированы попарно инфракрасные излучатели с отражателями, подключенными к системе электроподвода, состоящей из контактора электрической цепи, установленных на каждой тележке с двух сторон, а токоподводящие шины закреплены через изолятор к боковым стенкам корпусов.

Конструктивное выполнение воздухораспределительного коллектора с поворотным флюгерным затвором позволяет организовать осциллирующий режим сушки и использовать низкопотенциальную энергию сбросового теплоагента. А установка на тележках попарно инфракрасных излучателей с отражателями обеспечивает быструю морку коконов и сокращает общее время сушки (рисунок 1.33-1.41) [106].

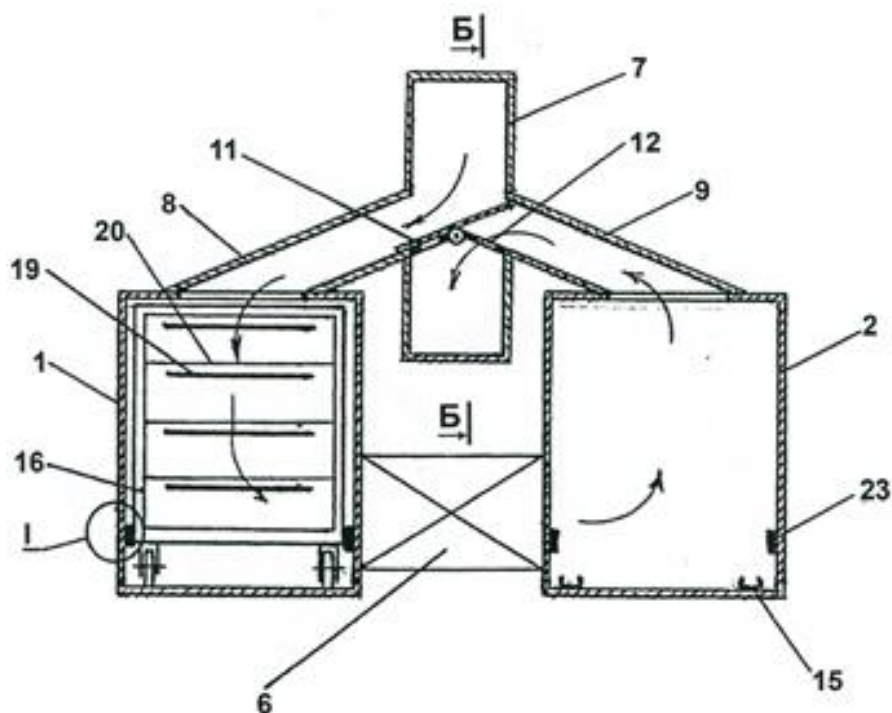


*1-рабочие корпуса; 3-дверь; 4-вентилятор; 5-электрокалориферы;  
7-воздухораспределительный коллектор; 11-затвор; 16-тележки*

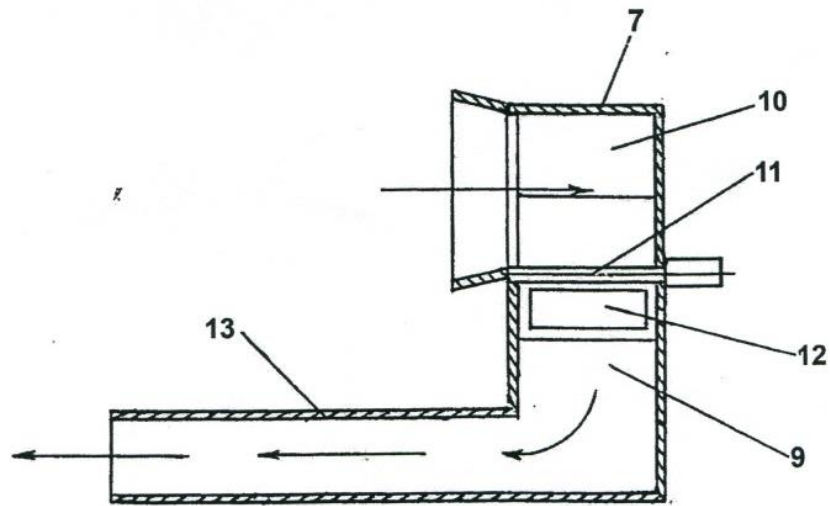
**Рис. 1.33. Общий вид устройства для морки и сушки коконов тутового шелкопряда**



1,2-рабочие корпуса; 3-дверь; 4-вентилятор; 5,6-электрокалориферы;  
8,9-рукава; 11-затвор; 13-патрубок; 14-решетчатая вставка  
**Рис. 1.34. Устройства для морки и сушки коконов тутового шелкопряда (вид сверху)**

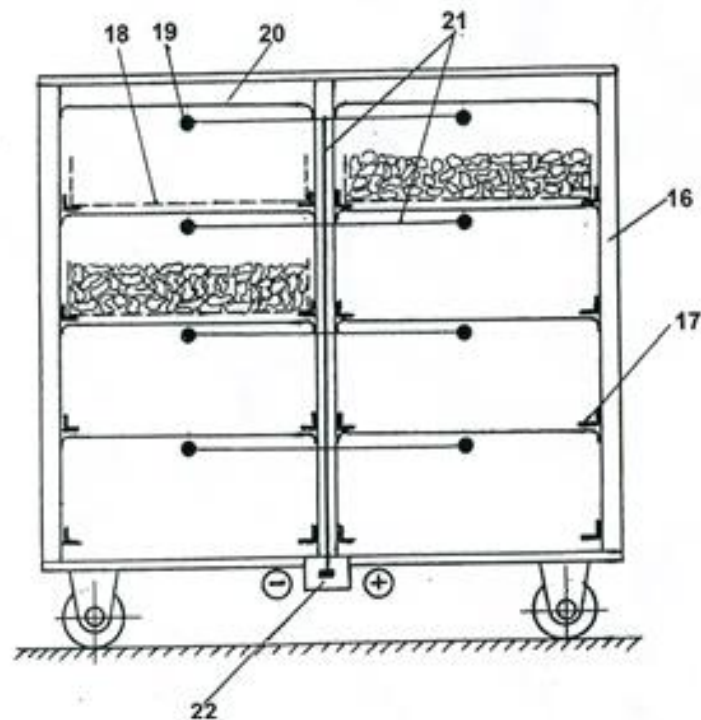


1,2-рабочие корпуса; 7-воздухораспределительный коллектор; 8,9-рукава;  
11-затвор; 12-окна; 15-швеллерные направляющие; 16-тележки;  
19-инфракрасный излучатель; 20-отражатель; 23-токоподводящие шины  
**Рис. 1.35. Устройства для морки и сушки коконов тутового шелкопряда (разрез А-А на рис.1.34)**



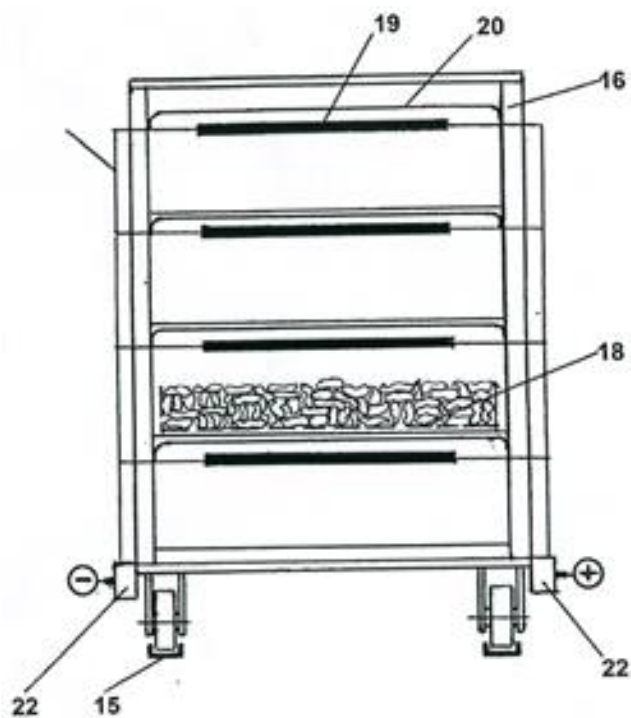
7-воздухораспределительный коллектор; 9-рукава; 10-примыкание верхние  
руковой к камере; 11-затвор; 12-окна; 13-патрубок;

**Рис. 1.36. Устройства для морки и сушки коконов тутового шелкопряда  
(разрез Б-Б на рис.1.35)**

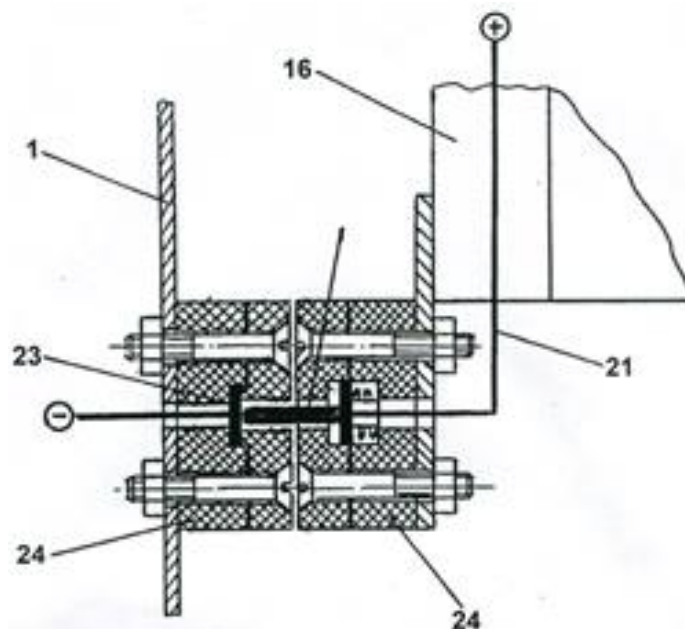


16-тележки; 17-ярусы тележки; 18-сетчатые поддоны; 19-инфракрасный  
излучатель; 20-отражатель; 21-электроподводы; 22-контакторы

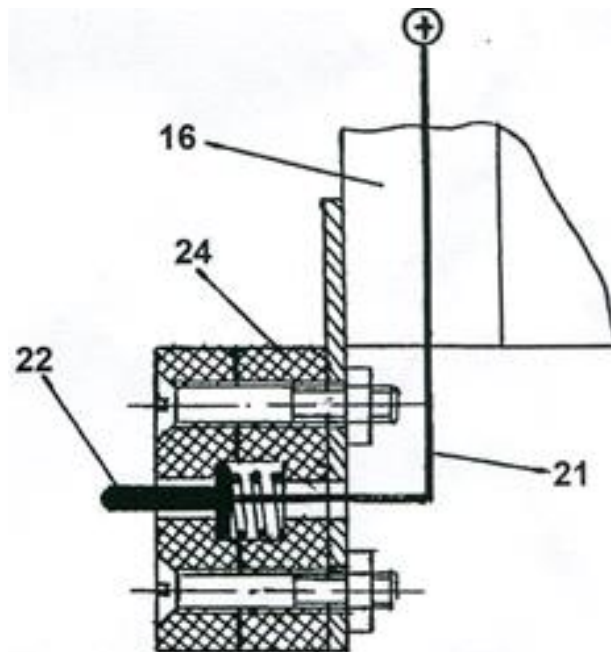
**Рис.1.37. Устройства для морки и сушки коконов тутового шелкопряда  
(тележка для продукции, вид сбоку)**



*15-швеллерные направляющие; 16-тележки; 18-сетчатые поддоны;  
19-инфракрасный излучатель; 20-отражатель; 22-контакты.*  
**Рис. 1.38. Устройства для морки и сушки коконов тутового шелкопряда  
(тележка для продукции, главный вид)**

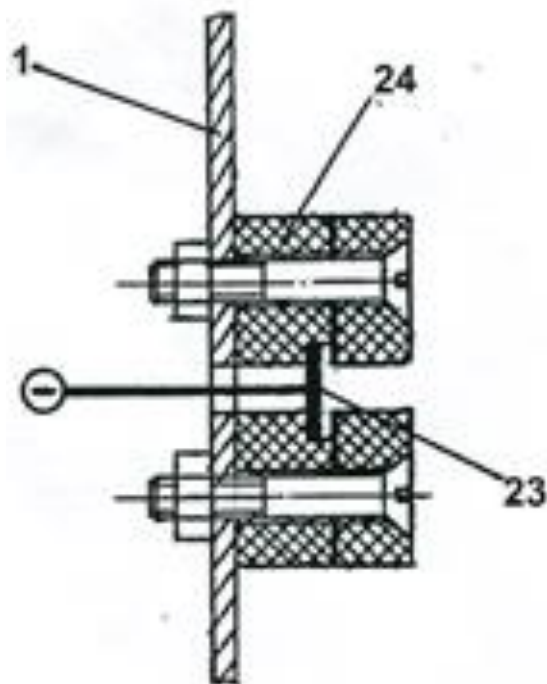


*1-рабочие корпуса; 16-тележки; 21-электроподводы; 23-токоподводящие  
шины; 24-изолятор.*  
**Рис. 1.39. Устройства для морки и сушки коконов тутового шелкопряда  
(узел 1 на рис.1.35)**



*16-тележки; 21-электроподводы; 22-контакты; 24-изолятор*

**Рис. 1.40. Устройства для морки и сушки коконов тутового шелкопряда (контактор электрической цепи)**



*23-токоподводящие шины; 24-изолятор*

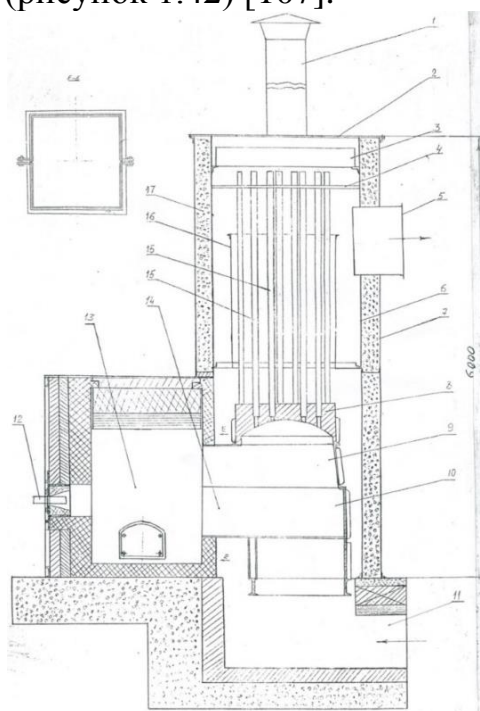
**Рис. 1.41. Устройства для морки и сушки коконов тутового шелкопряда (токоподводящая шина)**

Экспериментально было доказано, что время замаривания составляет 10-12 мин при температуре  $t=80-90$  °С. При поддержании этих технологических условий куколки внутри кокона быстро умершвляются, сохраняя целостность

плоти, т.е. разрыв тела куколки не происходит. При увеличении этих параметров куколки могут лопнуть из-за сильного перегрева, что приводит к искусственному образованию брака за счет выделения влаги.

По данной технологии время морки коконов сокращается в 6-8 раз по сравнению с паровой моркой. Использование предлагаемого устройства для сушки коконов обеспечивает снижение энергопотребления и сокращает время сушки [106].

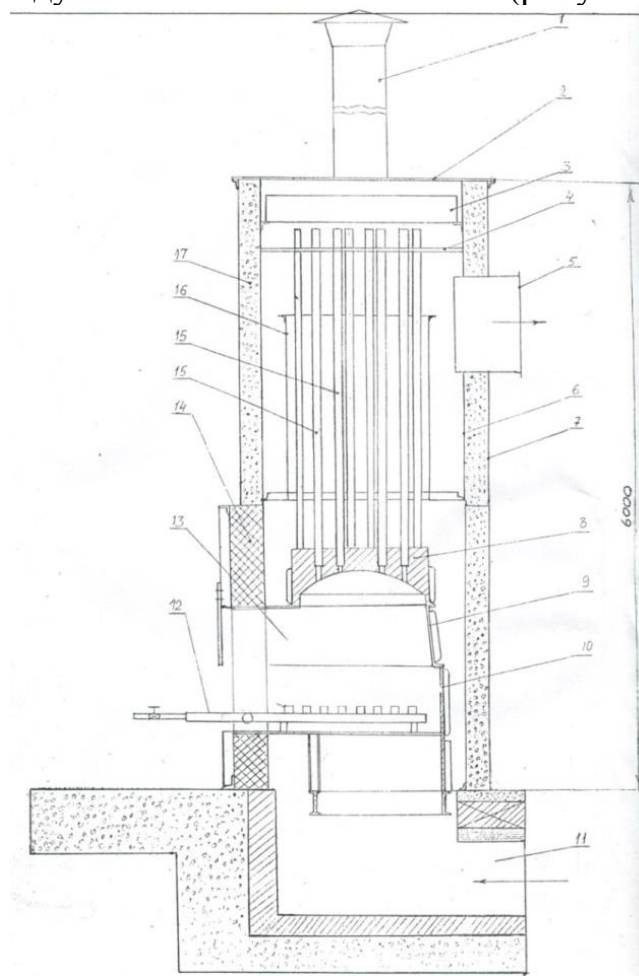
*Устройство для замаривания и сушки коконов.* Известная конвейерная коконосушилка СК-150К имеет ряд недостатков. Одним из основных недостатков этих сушильных агрегатов является большой расход топлива и электроэнергии. Для замаривания одной тонны коконов расходуется 90-95 кг дизельного топлива 65-70 кВт электроэнергии. Если эту сумму пересчитать на всю республику, то это составит значительную сумму. Для того чтобы сохранить качество обрабатываемых коконов, предотвратить выход бабочек в начале процесса сушилку запускают в холостую, без коконов, примерно через 3-3,5 часа по достижению требуемой температуры (88-90 °С) приступают к замариванию и сушке коконов. Каждый запуск установки требует нагревания в течение 3-3,5 часа, соответственно на это расходуется дополнительная энергия (рисунок 1.42) [107].



- 1-выхлопная труба; 2-крышка; 3-парогенератор; 4-решетка огневых труб;  
 5-короткий воздухопускатель (для горячего воздуха); 6-внутренний фланец;  
 7-внешний фланец; 8-верхний барабан; 9-средний барабан; 10-нижний барабан;  
 11-туннель для входа воздуха; 12-горелка; 13-камера горения;  
 14-камера для нагрева воздуха (калорифер); 15-дымовые трубы;  
 16-внешний корпус; 17-керамзит

**Рис. 1.42. Схема неусовершенствованной топки коконосушилки агрегата СК-150К**

З.С.Ариповым была усовершенствована установка СК-150К, которая позволяет уменьшить расход топлива, времени нагрева воздуха, массы и размеров топки сушилки. Им предложено выложить все стороны стены камеры сгорания огнеупорным кирпичом с передней части горелки. Огневой калорифер конструктивно выполнен из трех последовательно установленных литых чугунных барабанов. Камера сгорания выложена из огнеупорного кирпича и существующая горелка, установленная в передней стенке этой камеры полностью демонтирована. Демонтированная заводская горелка с расходом топлива 36-40 м<sup>3</sup>/ч заменен на горелку, которая была сконструирована с учетом размеров чугунных барабанов и новой рекомендованной температурой обработки коконов с расходом топлива 28-32 м<sup>3</sup>/ч при температуре 88-90 °С. Объем и скорость воздуха остаются без изменения (рисунок 1.43) [107].



1-выхлопная труба; 2-крышка; 3-парогенератор; 4-решетка огневых труб; 5-короткий воздухопускатель (для горячего воздуха); 6-внутренний фланец; 7-внешний фланец; 8-верхний барабан; 9-средний барабан; 10-нижний барабан; 11-туннель для входа воздуха; 12- горелка, работающая с использованием газа; 13- камера горения; 14-огнеустойчивая новая кирпичная стена; 15-дымовые трубы; 16-внешний корпус; 17-керамзит.

**Рис. 1.11. Схема усовершенствованной топки коконосушилки агрегата СК-150К**

Результаты изменения конструкции топki путем совмещения двух камер в одну и замена на новую горелку уменьшили расход топлива обработки на 16-22% с каждой 1 т коконов.

Усовершенствованная З.С.Ариповым установка [107] работает по принципу действия машин ленточного типа с трехъярусной системой транспортирования. В качестве рабочего тела сушки является воздух, нагреваемый в огневом калорифере дымовым газом, получаемым сжиганием дизельного топлива. После запуска циркуляционного вентилятора, разжигают горелки. Затем бункер наполняют коконами. В течение 2-2,5 часов температура достигает 88-90 °С, затем запускают загрузочные и браковочные транспортеры. Отсортированные коконы наклонным загрузочным транспортером подаются на верхний ярус транспортеров сушильной камеры, откуда пересыпаются на нижеустановленные транспортеры. Выгружаются коконы с применением нижнего конвейера.

Движение горячего воздуха производится по циркуляционному вентилятору (Ц4-70-№10). Воздух нагнетается в огневой калорифер топki, из него горячий воздух по воздухопроводу поступает в сушильную камеру и продувает слой коконов сверху вниз. Для обеспечения равномерной раздачи горячего воздуха в сушильной камере над верхним транспортером установлен воздухораспределитель. Под нижним транспортером установлены жалюзи. Отработанный воздух по подземному туннелю поступает во всасывающий патрубок циркуляционного вентилятора. Циркуляционный вентилятор нагнетает воздух в огневой калорифер топki. Затем цикл повторяется [107].

## ГЛАВА 2. ВОЗДЕЙСТВИЯ УПРУГИХ ВОЛН НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

### 2.1. Упругие волны в природе, науке, технике, технологии, медицине

Существующие в природе упругие волны различаются в первую очередь по частоте и интенсивности. Рассмотрим физические особенности и использование на практике упругих волн разных частотных диапазонов и различных интенсивностей. Особое внимание будет уделено волнам ультразвукового диапазона, поскольку именно они получили наиболее широкое практическое применение и представляют наибольший интерес [108].

*Частотные диапазоны упругих волн.* Любая волна - это распространение возмущения в той или иной среде, при котором происходит перенос энергии, а не вещества.

*Механические волны* подразделяют в зависимости от того, какие силы восстанавливают невозмущенное состояние среды. Механические волны на поверхности жидкости бывают двух видов: *гравитационные*, то есть такие, в которых равновесие после возмущения в поверхности жидкости восстанавливается за счет силы тяжести; и *капиллярные* - в них равновесие восстанавливают силы поверхностного натяжения. В механической упругой волне равновесие после возмущения среды восстанавливается за счет упругих сил, которые возникают в среде при распространении сжатий и разрежений.

Упругие волны иначе называют *звуковыми*: это название подчеркивает, что хотя слышимый человеком звук занимает сравнительно узкий диапазон частот, физическая сущность упругих волн одинакова. Упругие волны делят по частоте: до 20 Гц - *инфразвуковые*, от 20 до  $20 \cdot 10^3$  Гц - *звуковые* в узком смысле этого слова или *слышимый звук*, от  $20 \cdot 10^3$  до  $10^9$  Гц *ультразвуковые* и выше (до  $10^{12}$  -  $10^{13}$  Гц) - *гиперзвуковые* волны [108].

*Инфразвуковые волны.* Чаще всего инфразвуковые колебания возникают при разбивании потоков воздуха различными препятствиями, за счет взаимодействия ветра с морскими волнами, электрическими разрядами, взрывами, смещениями земной коры.

Низкочастотные инфразвуковые упругие волны естественного происхождения были обнаружены и исследованы в стране в 20-х годах прошлого века. Мощные инфразвуки появлялись на берегу моря перед штормом. Выяснилось, что причиной этого «голоса моря» является ураган.

Исследованиями инфразвуковых волн занимались ученые В.В.Шулейкин и В.А.Березкин, Н.Н.Андреев, Л.М.Бреховских, французский исследователь Гавро, американский физик Роберт Вуд.

Человеческие органы слуха не воспринимают инфразвуки. Однако инфразвук может оказывать весьма заметное действие на организм. Известны случаи, когда «голос моря» приводил к гибели или бесследному исчезновению целых экипажей кораблей [108].

Исследования физиологического действия инфразвука показали, что

волны большой интенсивности вызывают у живых организмов чувство беспокойства, страха и ужаса. Действие мощного инфразвука приводит не только к возникновению негативных эмоций, но и может стать причиной плохого самочувствия, болезненных ощущений в организме. Особенно опасными являются волны частотой порядка 7 Гц, которые, как установлено Гавро, при большой интенсивности могут быть смертельны. Инфразвук приводит к нарушению зрения и равновесия организма.

Объясняется такое действие инфразвука резонансом: при совпадении частоты инфразвуковой волны с основной собственной частотой колебаний внутреннего органа вследствие резонанса резко увеличивается амплитуда колебаний этого органа. Интенсивные вибрации жизненно важных органов приводят к болезненному состоянию, а иногда и к гибели всего организма.

Инфразвуковые волны возникают не только в результате природных явлений. Их источниками являются, например, многие виды транспорта: грузовые и легковые автомобили, движущиеся с большой скоростью, самолеты, вертолеты, ракеты и т. д.

Знание условий возбуждения и свойств инфразвука обеспечило его практическое применение. Например, в медицине маломощные инфразвуковые колебания используются для удаления из организма человека камней, которые образуются при ряде заболеваний. Регистрация инфразвуковых волн является одним из надежных методов прогнозирования землетрясений, цунами, ураганов и других природных бедствий, поскольку инфразвук распространяется в атмосфере, океане и земной коре с большой скоростью. Существуют и совершенно неожиданные применения инфразвука: скажем, создан инфразвуковой измеритель объема, используемый в затруднительных для других методов условиях [108].

**Звук.** Из упругих волн разных частотных диапазонов звук наиболее близок, поскольку играет первостепенную роль в нашей повседневной жизни, является средством общения, передачи информации и т. д. Значимость звука для человека трудно переоценить: специальные исследования показали, что по слуховому каналу в мозг человека может поступать такой же объем информации, как по зрительному.

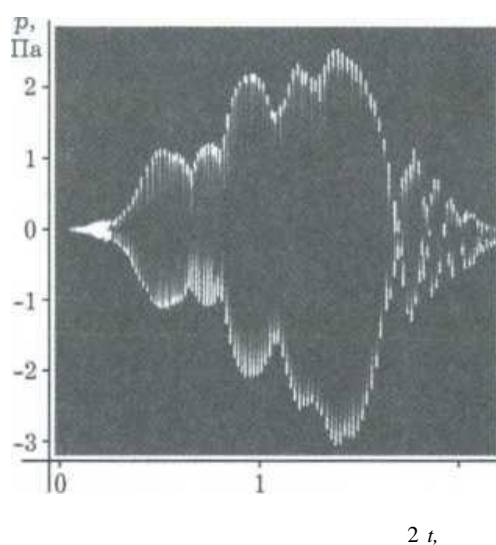
Наука о звуке называется *акустикой*. Помимо общих вопросов получения и распространения звука, она изучает много интересных проблем, связанных со звуком. Музыкальная акустика рассматривает музыкальные звуки. Акустика помещений (архитектурная акустика) исследует особенности распространения звуковых волн в помещениях, имеющих различные размеры, форму, акустические свойства стен и мебели. Гидроакустика и атмосферная акустика изучают звуковые волны в гидросфере и атмосфере. Предметом изучения физиологической акустики являются органы речи и слуха человека. Биологическая акустика рассматривает действие звука на живые организмы, использование звука животными. Электроакустика занимается проблемами получения, передачи и приема звука электрическими приборами. Физическая акустика, тесно связанная с ультраакустикой, исследует непосредственно

звуковые колебания и волны [108].

*Ультразвук.* Несмотря на то, что ультразвуковые волны неслышимы (а может быть, именно благодаря этому!), они имеют большое практическое значение. Поэтому рассмотрим их здесь несколько более подробно, основное внимание уделив ультразвуку в природных условиях.

*Ультразвук в природе.* В конце XVIII века итальянский ученый Л.Спалланцани, изучая поведение летучих мышей, обнаружил их способность ориентироваться в темноте. Он заметил, что без зрения летучие мыши летают и охотятся так же хорошо, как со зрением. Ученый доказал, что обоняние, вкус, осязание не причастны к этому, а уверенный полет обеспечивает слух мышей. Если он закрывал мыши рот или уши, она становилась совершенно беспомощной. Тем самым он подтвердил невозможность ориентировки мышей с закрытыми ушами, впервые установленную швейцарским биологом Ш.Жюрином. Спалланцани не дал объяснения наблюдавшемуся явлению. Полученные в этой области им и другими учеными результаты были отвергнуты, поскольку в то время биологи придерживались тактильной теории, согласно которой ориентация происходит посредством осязания, а о существовании неслышимого человеком ультразвука никто и не подозревал [108].

Впервые гипотеза об использовании летучими мышами механизма ультразвуковой эхолокации была выдвинута уже в начале XX века.



**Рис. 2.1. Импульс упругой волны, испускаемой летучей мышью**

Позднее было обнаружено, что летучие мыши действительно пользуются *ультразвуковыми импульсами* (рисунок 2.1).

Они испускают их во время полета и улавливают отраженные различными препятствиями волны. Исследования показали, что голосовые связки мышей устроены таким образом, что способны издавать звуки высокой частоты и ультразвуки. Воздействием ультразвука на слуховой аппарат летучей мыши было доказано, что он чувствителен к ультразвуку.

Сейчас особенности излучения и приема ультразвука разными видами летучих мышей детально изучены. Голосовыми связками летучая мышь может испускать ультразвуковые импульсы различной формы, продолжительности и частоты. Мыши имеют сложный слуховой аппарат, который позволяет им определять скорость движения объекта, его объемные характеристики. По времени возвращения отправленного сигнала после его отражения они определяют расстояния до различных предметов. Разрешающая способность эхолокации некоторых видов летучих мышей довольно значительна. Каждый зверек легко может отличить «свой» отраженный сигнал от множества других, одновременно распространяющихся в воздухе.

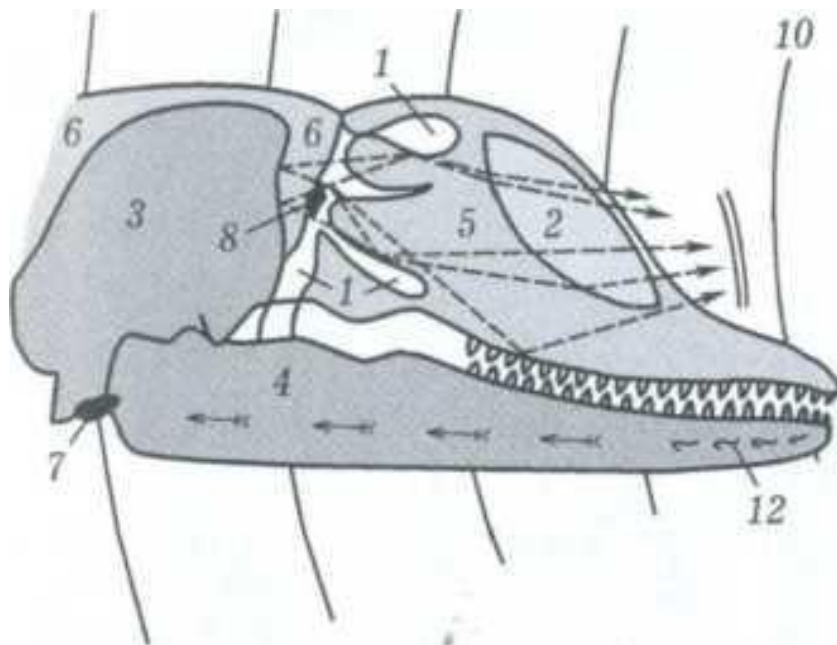
Слышат ультразвук также бабочки, на которых охотятся летучие мыши. При облучении ультразвуком они прекращают движение или улетают. Бабочки обособлены еще и тем, что их покров плохо отражает ультразвуковые волны. Для восприятия ультразвука они имеют специальные органы, называемые тимпональными. Реакция бабочек на ультразвук в настоящее время также хорошо изучена. Для успешной охоты ввиду указанных особенностей бабочек некоторые виды летучих мышей пользуются особой тактикой: они перестают излучать ультразвук, когда обнаруживают добычу и тем самым дезориентируют ее [108].

Кроме бабочек, многие насекомые используют ультразвук: сверчки в слышимом диапазоне издают звуки с частотами 8, 11 и 16 кГц, в ультразвуковом - 24 и 32 кГц, саранча реагирует на ультразвук частотой 90 кГц, цикады слышат ультразвук частотой 40 кГц, медоносные пчелы при роении и обнаружении пищи издают звуковые волны частотой 20-22 кГц.

Морские животные испускают и воспринимают ультразвук. Ракообразные некоторых видов, а именно креветки, дают звук частотой 2-24 кГц при захлопывании клешни. Звук для животных, обитающих в воде - очень важный источник информации о внешнем мире.

Широко используют звуковые волны практически все китообразные: киты, дельфины и др. Они могут воспринимать упругие волны различных диапазонов: инфразвук, слышимый звук, ультразвук. Ориентироваться в пространстве им помогает специфическое строение слухового аппарата: уши изолированы от черепа и колебания ими воспринимаются независимо друг от друга. Издают китообразные звуки в диапазоне от нескольких десятков герц до 200 кГц. Животные ориентируются и общаются друг с другом посредством испускаемых ими и отраженных звуков. Для ориентации в пространстве используются преимущественно сигналы высокой частоты. Китообразные, в частности, дельфины, имеют развитый эхолокационный аппарат, схематически изображенный на рисунке 2.2 [109]. Вогнутая передняя поверхность черепа и жировая подушка на челюстных и межчелюстных костях дельфинов способствуют тому, что испускаемый сигнал имеет направленный характер. Наборы сигналов, характеризующие отдельные виды китообразных, различны. Они включают сигналы опасности, питания, боли. Например, дельфины одного из наиболее изученных видов общаются друг с другом звуками частотой 7-20

кГц: лай - преследование добычи, хлопки - устрашение своих сородичей, мяукание - кормежка и.т.д. При ориентировке и поиске добычи они издают сигналы 200-170 кГц. С возрастом набор сигналов, которым владеют китообразные, увеличивается. Например, если детеныши владеют 6 коммуникационными сигналами, то взрослые дельфины уже 17 [108].



1-воздушные мешки и носовой канал, производящие звуковые импульсы; 2-жировая подушка, выполняющая функцию акустической линзы; 3-череп, выполняющий функцию акустического отражателя; 4-нижняя челюсть, по которой в ухо возвращается отраженная звуковая волна; 5-части головы, лежащие впереди носового канала; 6-части головы, лежащие позади носового канала; 7-барабанная кость и внутреннее ухо; 8-губа носовой пробки; 9-излученные звуковые волны; 10-отраженные звуковые волны; 11-объект лоцирования (рыба); 12-нервные отверстия в нижней челюсти

**Рис. 2.2. Эхолокационный аппарат дельфина**

Приведем некоторые данные о верхнем пороге слышимости по частоте для животных: кошка – 50 кГц, собака – 135 кГц, шимпанзе – 33 кГц, мышь – 100 кГц, крыса – 80 кГц [110].

*Ультразвук и домашние животные.* Сказанное выше обуславливает использование человеком ультразвука при взаимодействии с домашними животными. Это наиболее ранняя область практического применения ультразвука.

В настоящее время ультразвук частотой 20-25 кГц используют для дрессировки или отпугивания собак. Отпугивающее действие основано на том, что волны названных частот создают животным дискомфорт. Такое воздействие способствует усвоению собаками некоторых команд (например,

«фу»). В Англии ультразвуковые свистки используют для дрессировки полицейских и охотничьих собак [108].

В таблица 2.1 даны верхние границы частот, воспринимаемых некоторыми животными и насекомыми.

**Таблица 2.1**

**Верхняя граница частот (в кГц), воспринимаемых органом слуха**

Наименование животных и насекомых	Единица измерения, кГц	Наименование животных и насекомых	Единица измерения, кГц
Чайки	8	Кузнечик	100
Лягушки	30	Летучая мышь	150
Собаки	60	Бабочки	160
Кошки	100	Дельфины	200

*Ультразвук в науке, технике, технологии.* Измерение скорости распространения ультразвука, исследования интерференции, дифракции, дисперсии, поглощения, рассеяния и других ультразвуковых явлений дают возможность изучать физические свойства и строение вещества. В технических и технологических процессах наиболее часто применяется ультразвук частотой в десятки кГц: ультразвуковая очистка, воздействие на химические и электрохимические процессы, диспергирование, эмульгирование, распыление, кристаллизация, металлизация и пайка, механическая обработка, сварка, пластическое деформирование - вот далеко не полный перечень технических применений ультразвука [108].

В таблица 2.2 – приведены приближённые значения скорости УЗ в различных средах при температуре 36°C.

**Таблица 2.2**

**Скорости УЗ в различных средах при температуре 36°C**

Среда	Плотность кг/м <sup>3</sup>	Скорость УЗ м/с	Волновое сопротивление Z кг/м <sup>2</sup> с x 10 <sup>6</sup>	Коэффициент поглощения ДБ/см, 1 МГц
Воздух	1,3	330	0,429x10 <sup>-3</sup>	12
Вода	1000	1430	1,43	0,002
Кровь	1060	1570	1,59	0,2
Мозг	1025	1510	1,58	0,9
Жировая ткань	952	1450	1,38	0,6
Мышцы (в спелном)	1075	1580	1,70	2,3
Мягкие ткани (в среднем)	1060	1540	1,63	1,0
Кости (пределы изменений)	1400-1900	4080	5,6 - 7,8	13

В приведённой таблица 2.3 представлены значения коэффициента поглощения и глубины полупоглощения  $H$  на различных частотах для различных тканей:

Таблица 2.3

Значения коэффициента поглощения

Ткань	$f$ (МГц)	$k$ (см <sup>-1</sup> )	$H$ (см)
Вода	1	0,001	350
	2	0,004	90
Кровь	1	0,01	17
Кожа	3	0,85	0,41
	5	1,05	0,33
Мышечная ткань	0,8		3,6
Кость	0,88	0,71	03
	2,64	63	0,055
	45	92	0,038

*Гиперзвук.* По физическим свойствам упругие волны этого диапазона (частотой выше  $10^9$  Гц) практически не отличаются от ультразвука. В отдельную область они были выделены в связи со значительными трудностями их искусственного получения.

В газах гиперзвуковые волны распространяться не могут, поскольку при нормальных условиях среднее расстояние между молекулами газов оказывается сравнимым с длиной гиперзвуковых волн.

Упругие волны гиперзвукового диапазона хорошо проводят твердые кристаллические тела. В жидкостях гиперзвук также распространяется, но его затухание велико. Вследствие высокой частоты, которая соответствует СВЧ-диапазону электромагнитных волн, распространяясь, гиперзвуковые волны взаимодействуют с электронами и тепловыми фонами. При этом приложенное к кристаллу внешнее электрическое поле может усилить гиперзвуковую волну (*акустоэлектрический эффект*) [108].

Взаимодействие гиперзвука с электронами приводит к изменению оптических свойств вещества, влияет на процессы излучения и поглощения света - *акустооптический эффект*. Для получения гиперзвука используют пьезоэлектрические и магнитострикционные излучатели. Поскольку длина гиперзвуковой волны очень мала, размеры излучателей также незначительны: их получают напылением на подложку пьезоэлектрической или магнитострикционной пленки.

Свойства гиперзвука обуславливают его применение в физике твердого тела для исследования состояния вещества. В технике упругие волны этого диапазона используются для создания сверхвысокочастотных акустических линий задержки, устройств акустоэлектроники и акустооптики.

## 2.2. Свойства ультразвуковых колебаний

Человек живет в мире упругих волн. Некоторые из них он слышит, другие-вообще не воспринимает органом слуха. Но и слышимые, и неслышимые упругие волны играют важную роль в жизни человека.

Если в сплошной среде - газах, жидкостях или твердых телах – частицы среды окажутся выведенными из положения равновесия, то упругие силы, действующие на них со стороны других частиц, будут возвращать их в положение равновесия. При этом частицы будут совершать колебательное движение. Распространение упругих колебаний в сплошной среде представляет собой волнообразный процесс.

Колебания с частотой от единиц Герц (Гц) до 20 Гц называются инфразвуковыми, при частоте от 20 Гц до 16-20 кГц колебания создают слышимые звуки. Ультразвуковые колебания соответствуют частотам от 16-20 кГц до  $10^8$  Гц, а колебания с частотой более  $10^8$  Гц получили название гиперзвуков [111-113]. На рисунке 2.3 показана логарифмическая шкала частот, выполненная на основе выражения  $lg^2 f = 1, 2, 3 \dots, n$ , где 1, 2, 3 ..., n – номера октав.

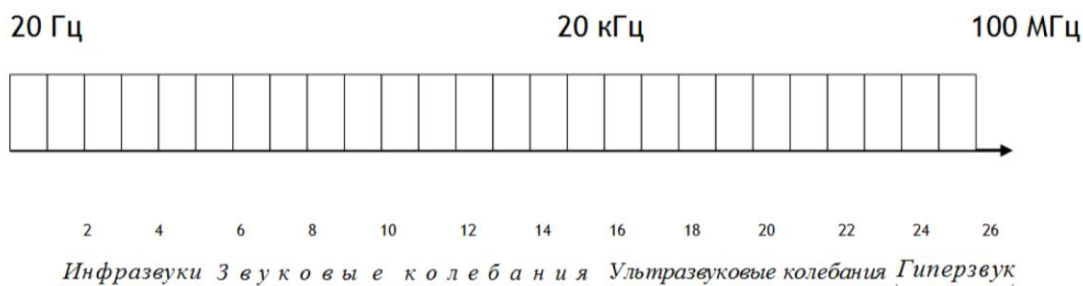


Рис. 2.3. Диапазоны упругих колебаний в материальных средах

Любая волна как колебание, распространяющееся во времени и в пространстве, может быть охарактеризована частотой, длиной волны и амплитудой (рисунок 2.4) [114]. При этом длина волны  $\lambda$  связана с частотой  $f$  через скорость распространения волны в данном материале  $c$ :

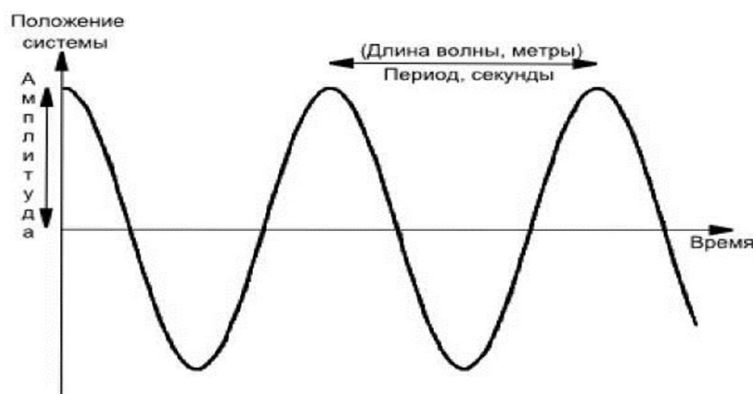


Рис. 2.4 Характеристики колебательного процесса

Частота – это количество колебаний, совершаемых системой в единицу времени; длина волны - это расстояние, которое проходит волна за время, равное периоду колебаний  $T$  ( $T=1/f$ ), т.е. за время, затраченное на одно колебание; амплитуда колебаний – это максимальное отклонение колебательной системы от положения равновесия.

По своей физической природе звуковые и ультразвуковые колебания ничем друг от друга не отличаются. Это упругие колебания в материальных средах. Рассмотрим, какими параметрами можно охарактеризовать волну.

Длина волны  $\lambda$  – это расстояние, которое проходит волна, пока частица среды совершает одно колебательное движение. Расстояние между соседними максимумами или минимумами возмущения считают длиной волны.

Амплитуда колебаний  $A$  представляет собой максимальное смещение частицы из положения равновесия во время ее колебательного движения, вызванного возбуждением частиц среды.

Частота колебаний  $f$  – это число колебаний, совершаемых частицей среды за одну секунду. Для звуковых волн, генерируемых средой, характерен непрерывный ряд или диапазон частот. Самая низкая частота волны называется основной, или собственной, а остальные являются гармониками, или обертонами. Частота второй гармоники в два раза превышает собственную частоту системы. Аналогично частота третьей гармоники превышает ее в три раза и т.д.

Период колебаний  $T$  – это время, необходимое частице для совершения одного колебательного движения. По определению время, за которое волна производит  $f$  колебаний, равно 1 секунде.

Колебание – это возвратно-поступательное движение из одного крайнего положения в другое и обратно через положение равновесия.

Фаза колебаний  $\varphi$  – это отношение смещения колеблющейся частицы в данный момент времени к его амплитудному значению. Если точки колебательного процесса находятся в одной фазе (их разность фаз составляет  $2\pi$ ), то расстояние между этими двумя точками равно одной длине волны  $\lambda$ .

Скорость распространения колебаний  $C$  – это расстояние, пройденное волной за одну секунду [111].

Отличительные особенности ультразвуковых колебаний:

1. Ультразвуковые колебания, имея большую частоту  $f$ , в сравнении со звуковыми колебаниями при одинаковой скорости распространения, характеризуются значительно более короткими длинами волн. Ультразвуковые (УЗ) колебания в различных средах с длиной волны, не превышающей 1...10 мм, по своим свойствам аналогичны световым лучам. Это позволяет не только фокусировать колебания, но и формировать направленное излучение, то есть

направлять энергию в нужном направлении и сосредотачивать ее в нужном объеме.

2. УЗ-колебания могут распространяться в любых материальных средах (в прозрачных и непрозрачных средах, проводниках и диэлектриках и т.п.), что позволяет использовать их для исследования и воздействия на полимеры, металлы, жидкости, газы и др.

3. Мощность ультразвуковых колебаний, распространяемых в средах, пропорциональна квадрату частоты, и поэтому в отличие от мощности звуковых колебаний очень велика. Мощность ультразвуковых колебаний может достигать сотен киловатт, а интенсивность (энергия, распространяемая через единицу площади в единицу времени) – 1...1000 Вт/см. При таких интенсивностях ультразвукового воздействия внутри материальных тел может распространяться очень большая энергия механических колебаний. В ходе распространения волны (в колебательном процессе) возникают перепады звукового давления, превышающие десятки МПа [115].

Эффективность УЗ-воздействий на различные технологические процессы подтверждена многочисленными исследованиями и опытом, позволившими установить следующее:

1. Применение ультразвуковых колебаний высокой интенсивности обеспечивает 10...1000-кратное ускорение процессов, протекающих между двумя или несколькими неоднородными средами (растворение, очистка, обезжиривание, дегазация, крашение, измельчение, пропитка, эмульгирование, экстрагирование, кристаллизация, полимеризация, предотвращение образования накипи, гомогенизация, эрозия, химические и электрохимические реакции и многое другое). При этом увеличивается выход полезных продуктов (например, экстрактов), и им придаются дополнительные свойства (например, биологическая активность и стерильность), а также удается получить вещества с новыми свойствами (например, тонкодисперсные эмульсии и суспензии).

2. Использование ультразвуковых колебаний позволяет осуществлять технологические процессы, не реализуемые или сложно реализуемые традиционными методами - обеспечивать размерную обработку (сверление, снятие фасок, выполнение пазов) хрупких и твердых материалов, таких как керамики, полупроводниковых материалов, стекла, самоцветов, ферритов, сверхтвердых сплавов и стали.

3. Ультразвуковые колебания позволяют интенсифицировать многие процессы, происходящие на границе контакта материалов (сварку полимерных материалов, склеивание, пропитку различных материалов), ускоряя технологические процессы и повышая качество получаемых изделий.

Несомненные и уникальные достоинства УЗ-технологий должны были обеспечить их широкое использование при решении сложных проблем со-

временных производств, ориентированных на выпуск конкурентоспособной продукции [111].

### 2.3. Применение ультразвуковых колебаний

Область применения УЗ-колебаний низкой интенсивности (условно до 1 Вт/см<sup>2</sup>) очень обширна, и мы поочередно рассмотрели несколько основных применений УЗ-колебаний малой интенсивности.

1. УЗ-приборы для контроля химических характеристик различных материалов и сред. Все они основаны на изменении скорости УЗ-колебаний в среде и позволяют определять:

- концентрацию бинарных смесей;
- плотность растворов;
- степень полимеризации полимеров;
- наличие в растворах примесей, газовых пузырьков;
- скорость протекания химических реакций;
- жирность молока, сливок, сметаны;
- дисперсность в гетерогенных системах и др.

Разрешающая способность современных УЗ-приборов 0,05%, точность измерений скорости распространения на образцах длиной 1 м составляет 0,5–1 м/с (скорость в металле более 5000 м/с). Практически все измерения проводятся методом сравнения с эталоном.

2. Приборы для контроля физико-химических характеристик, основанные на измерении затухания ультразвука. Такие приборы позволяют осуществлять измерение вязкости, измерение плотности, состав, содержание примесей, газов и т.п. Используемые методики также основаны на методах сравнения с эталоном.

3. УЗ-расходомеры жидкостей в трубопроводах. Их действие также основано на измерении скорости распространения УЗ-колебаний вдоль потока жидкости и против потока. Сравнение двух скоростей позволяет определить скорость потока, а при известном сечении трубопровода расход.

4. Сигнализаторы уровней. Принцип действия основан на локации уровня жидких или сыпучих материалов ультразвуковыми импульсами, проходящими через газовую среду, и на явлении отражения этих импульсов от границы раздела газ–контролируемая среда.

5. УЗ-анализаторы состава газов основаны на использовании зависимости скорости УЗ в смеси газов от скоростей в каждом из составляющих эту смесь газов.

6. Охранные УЗ-устройства основаны на измерении различных параметров УЗ-полей (амплитуды колебаний при перекрытии пространства между излучателем и приемником, изменении частоты при отражении от движущегося объекта и т.п.).

7. Измерители температуры газов и пожарные сигнализаторы, основанные на изменении скорости распространения при изменении температуры среды или появлении дыма.

8. Приборы ультразвукового неразрушающего контроля. Неразрушающий контроль является одним из основных технологических приемов обеспечения качества материалов и изделий. Ни одно изделие не должно эксплуатироваться без проверки. Можно проверку осуществить путем испытаний, но так можно испытать 1-10 изделий, но нельзя проверить 100% всех изделий, т.к. проверить – это значит испортить все изделия. Поэтому проверять необходимо, не разрушая.

На сегодняшний день основные процессы, реализуемые и интенсифицируемые при помощи высокоэнергетических ультразвуковых колебаний, принято разделять на три основные подгруппы в зависимости от вида среды, в которой они реализуются (рисунок 2.5) [116-117].

В зависимости от вида среды процессы условно делятся на процессы в жидких, твердых, термопластичных материалах и газообразных (воздушных) средах. В последующих разделах будут более подробно рассмотрены процессы и аппараты для интенсификации процессов в жидких, твердых, термопластичных материалах и газообразных средах [115-116].

Далее рассмотрим примеры основных технологий, реализуемых с использованием высокоэнергетических ультразвуковых колебаний [111].

1. *Размерная обработка.* Ультразвуковые колебания применяются для обработки хрупких и особо твердых материалов и металлов.

Основные технологические процессы, интенсифицируемые ультразвуковыми колебаниями – это сверление, зенкование, нарезание резьб, волочение проволоки, полировка, шлифовка, сверление отверстий сложной формы. Интенсификация этих технологических процессов происходит благодаря наложению на инструмент ультразвуковых колебаний.

2. *УЗ-очистка.* Сегодня существует множество способов очистки поверхностей от различных загрязнений. УЗ-очистка более быстрая, обеспечивает высокое качество и отмывает труднодоступные участки. При этом обеспечивается замена высокотоксичных, огнеопасных и дорогих растворителей обычной водой.

3. *УЗ-сварка.* В настоящее время с помощью ультразвуковых колебаний высокой интенсивности производится сварка полимерных термопластичных материалов. Сварка полиэтиленовых тубиков, коробок, банок обеспечивает отличную герметичность. В отличие от других способов с помощью ультразвука можно варить загрязненные пластмассы, трубки с жидкостью и т.д. При этом содержимое стерилизуется.

С помощью ультразвуковой сварки производится сварка тончайшей фольги или проволоки к металлической детали. Причем УЗ-сварка является холодной сваркой, поскольку шов формируется при температуре ниже температуры плавления. Таким образом, соединяются сваркой алюминий, тантал, цирконий, ниобий, молибден и т.п.

В настоящее время ультразвуковая сварка нашла наибольшее применение для высокоскоростных процессов упаковки и производства полимерных упаковочных материалов.



**Рис. 2.5. Применение высокоэнергетических ультразвуковых колебаний**

4. *Пайка и лужение.* С помощью высокочастотных ультразвуковых колебаний производится пайка алюминия. С помощью УЗ можно лудить, а затем паять керамику, стекло, что ранее было невозможно. Ферриты, припайка полупроводниковых кристаллов с позолоченным корпусом реализуются сегодня с применением ультразвуковой технологии.

5. *Ультразвук в современной химии.* В настоящее время, сформировано новое направление в химии – УЗ-химия. Изучая химические превращения, происходящие под действием УЗ, ученые установили, что УЗ не только ускоряет окисление, но в некоторых случаях обеспечивает восстанавливающее действие. Таким образом, восстанавливается железо из окислов и солей.

Получены положительные результаты по интенсификации УЗ следующих химико-технологических процессов: электроосаждения, полимеризации, деполимеризации, окисления, восстановления, диспергирования, эмульгирования, коагуляции аэрозолей, гомогенизации, пропитки, растворения, распыления, сушки, горения, дубления и др.

*Электроосаждение* – процесс, при котором осаждающийся металл приобретает мелкокристаллическую структуру, уменьшается его пористость.

Таким образом, осуществляется меднение, лужение, серебрение. Процесс идет быстрее и качество покрытия выше, чем в обычных технологиях [111].

Сушка осуществляется без нагревания биологически активных веществ, в пищевой, фармакологической промышленности.

*Распыление жидкостей и расплавов.* Интенсификация процессов в распылительных сушках. Получение металлического порошка из расплавов. Эти распылительные устройства исключают вращающиеся и трущиеся детали. УЗ усиливает эффективность горения в 20 раз жидких и твердых топлив.

*Пропитка.* В сотни раз быстрее проходит жидкость через капилляры пропитываемого материала. Используется при производстве рубероида, шпал, цементных плит, текстолита, гетинакса, пропитке древесины модифицированными смолами.

6. *УЗ в металлургии.* Известно, что металлы при плавлении поглощают газы алюминия и его сплавы. 80% всех газов в расплавленном металле приходится на долю  $H_2$ . Это приводит к ухудшению качества металла. Газы удаётся удалять с помощью УЗ, что позволило в нашей стране создать специальный технологический цикл и широко использовать его при производстве металлов.

*УЗ способствует закалке металлов.* В порошковой металлургии УЗ способствует слипанию частичек изготавливаемого материала. При этом отпадает необходимость в уплотнении большим давлением.

7. *УЗ в горном деле.* Применение ультразвука позволяет реализовать следующие технологии:

- удаление парафина со стенок нефтяных скважин;
- исключение взрывов метана в шахтах за счет его распыления;
- УЗ при обогащении руд (флотационный метод с применением УЗ).

8. *УЗ в сельском хозяйстве.* Ультразвуковые колебания благоприятно влияют на семена и зерна перед их посадкой. Так, обработка семян томатов перед посадкой обеспечивает увеличение численности плодов, сокращает время созревания и увеличение количества витаминов. Обработка УЗ семян дыни и кукурузы приводит к повышению урожайности на 40%. При обработке УЗ семян можно обеспечить дезинфекцию и ввести необходимые микроэлементы из жидкости.

9. *Пищевая промышленность.* На практике уже сегодня реализуются следующие технологии:

- обработка молока для гомогенизации, стерилизации;
- обработка для увеличения сроков хранения и качества молока в замороженном виде;
- получение высококачественного порошкового молока;
- получение эмульсий для хлебопечения;
- обработка дрожжей на 15 % повышает их бродильную силу;
- получение ароматических веществ, пюре, извлечение жира из печени;
- выделение винного камня;
- экстрагирование растительного и животного сырья;

- производство духов (6...8 часов вместо года).

10. *УЗ в биологии.* Большие дозы ультразвука убивают микроорганизмы (стафилококки, стрептококки, вирусы); малые интенсивности ультразвукового воздействия способствуют росту колоний микроорганизмов.

11. *Влияние УЗ на человека.* Ультразвуковое воздействие с интенсивностью до  $0,1-0,4 \text{ Вт/см}^2$  носит лечебное воздействие. В Америке лечебным считается воздействие с интенсивностью до  $0,8 \text{ Вт/см}^2$ .

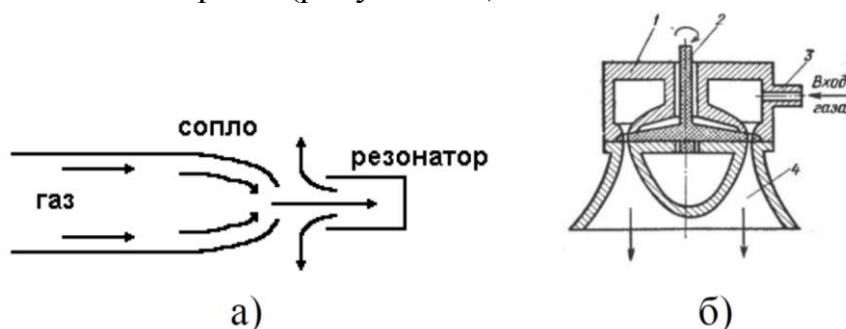
12. *УЗ в медицине.* Ультразвуковые скальпели, устройства для внешней и внутренней липосакции, лапороскопические инструменты, ингаляторы, массажеры находят самое широчайшее применение и позволяют лечить различные болезни [111].

## 2.4. Типы и классификация ультразвуковых преобразователей

1. Аэродинамические преобразователи обеспечивают преобразование энергии потока газа в ультразвуковых колебаниях газовой среды.

По характеру преобразования энергии потока газа аэродинамические преобразователи делятся:

- а) на статические сирены или газоструйные излучатели;
- б) динамические сирены (рисунок 2.6).



*а*–статическая сирена; *б*–динамическая сирена  
*1*–камера; *2*–ротор; *3*–входной патрубков; *4*–ротор  
**Рис. 2.6. Аэродинамические преобразователи**

*Газоструйные излучатели* – это генераторы звуковых и ультразвуковых колебаний, не имеющие движущихся частей, источником энергии служит кинетическая энергия движения газовой струи. Динамические сирены представляют собой газоструйные излучатели с возможностью периодического открывания и закрывания отверстий резонаторов за счет вращения роторного устройства.

Аэродинамические преобразователи обеспечивают возбуждение УЗ-колебаний в газовых средах и могут быть использованы для ускорения процессов в газовых средах. Рабочие частоты аэродинамических преобразователей не превышают 20-50 кГц [111, 118-119].

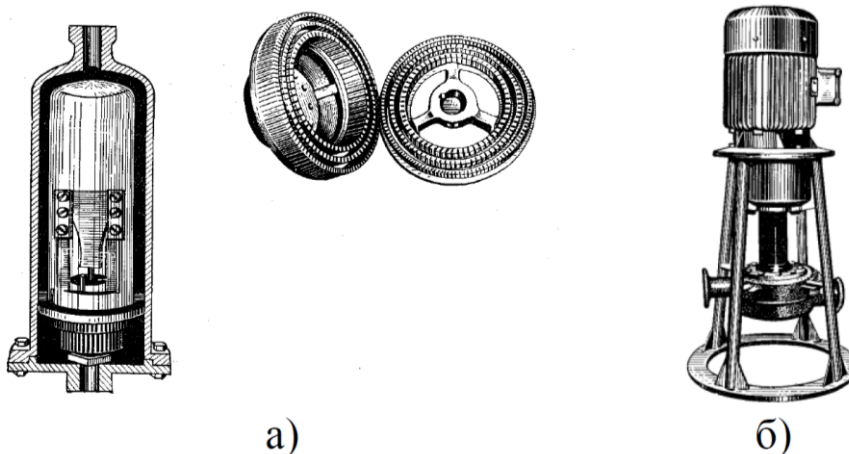
Аэродинамические преобразователи обеспечивают возбуждение УЗ колебаний в газовых средах и могут быть использованы для ускорения

процессов в газовых средах. Рабочие частоты аэродинамических преобразователей не превышают 20–50 кГц [119].

2. Гидродинамические излучатели обеспечивают преобразование энергии струи жидкости в энергию ультразвуковых колебаний. Их действие основано на генерировании ультразвуковых колебаний в жидкой среде при взаимодействии вытекающей из сопла струи с препятствием определенной формы и размеров либо при принудительном периодическом прерывании струи. Действие газоструйных излучателей основано на вихреобразовании, резонансе, автоколебаниях и других физических эффектах [111, 118].

В зависимости от характера преобразования энергии гидродинамические излучатели делятся:

- а) на пластинчатые излучатели (рисунок 2.7, а);
- б) клапанные;
- в) вихревые;
- г) пульсационные;
- д) роторные (рисунок 2.7, б).



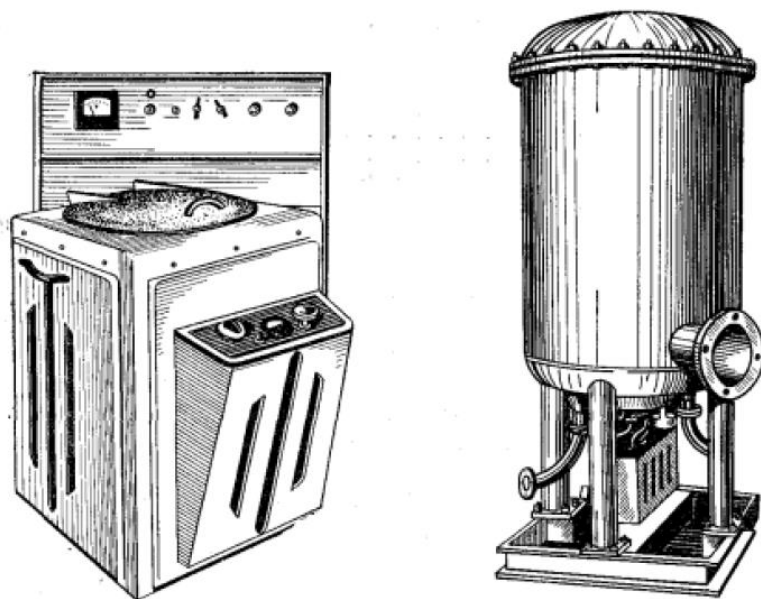
*а–пластинчатые гидродинамические излучатели; б–роторный гидродинамический излучатель*

**Рис. 2.7. Гидродинамические преобразователи**

Рабочие частоты гидродинамических излучателей не превышают 20 кГц.

3. Электромеханические преобразователи – низкочастотные вибраторы, обеспечивающие воздействие с большой амплитудой на объекты большой массы. Электромеханические преобразователи делятся:

- на электромагнитные, с подвижным железным якорем, основанные на преобразовании энергии электрического тока в магнитном поле (рисунок 2.8);
- на электродинамические излучатели, основанные на преобразовании энергии электрического тока в магнитном поле;
- механические вибраторы, основанные на преобразовании механической энергии одного вида (энергии вращения кривошипно- шатунных механизмов) в продольные колебания.



**Рис. 2.8. Электромагнитные преобразователи**

Акустические волны в электромеханическом преобразователе создаются в результате колебаний механической системы в жидкости.

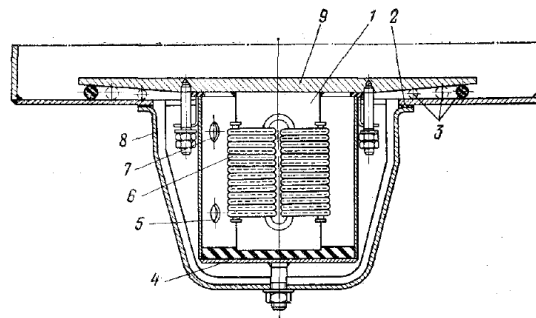
Основным недостатком преобразователей такого типа является невозможность работы на частотах выше 1 кГц, так как при повышении частоты резко возрастают электрические потери на вихревые токи и гистерезис [111].

4. Импульсные источники. Действие таких источников основано на преобразовании различных видов энергии для создания коротких широкополосных сигналов. Различаются:

- взрывные, обеспечивающие преобразование энергии взрыва в звуковые колебания;
- ударные, преобразующие энергию механического удара;
- тепловые, основанные на тепловом ударе;
- электроразрядные, преобразующие энергию электрического разряда в жидкости;
- импульсные электродинамические.

5. Магнитострикционные преобразователи обеспечивают преобразование энергии магнитного поля в механические колебания УЗ- частоты. Используются для возбуждения колебаний в жидких и твердых телах (рисунок 2.9).

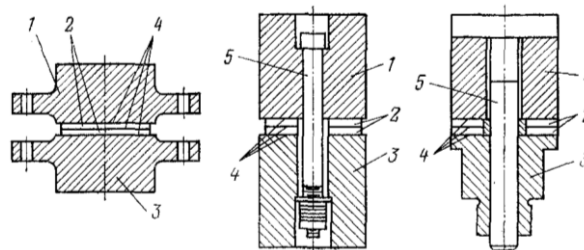
Рабочие частоты импульсных источников до 100 кГц. Основным недостатком является необходимость водяного охлаждения, поскольку магнитострикционные материалы характеризуются низкой температурой Кюри, температурой потери магнитострикционных свойств материалом [115].



1-пакет пластин пермендюра; 2-прокладка; 3-уплотнения; 4-бачок для охлаждения; 5-вход воды; 6-обмотка пакета; 7-слив воды; 8-кронштейн; 9-диафрагма

**Рис. 2.9. Плоский магнестрикционный излучатель**

б. Пьезоэлектрические преобразователи (рисунок 2.10) обеспечивают преобразование энергии электрического поля в механические колебания УЗ-частоты.



1-излучающая накладка; 2-пьезокерамические пластины; 3-отражающая накладка; 4-электроды; 5-крепежный болт

**Рис. 2.10. Конструкции составных пакетных пьезокерамических преобразователей**

Используются для формирования УЗК в жидких, твердых и газообразных веществах. Рабочие частоты от 20 кГц до 1000 кГц.

Указанный выше вид преобразователь получил наибольшее распространение, практически вытеснив из практики все остальные преобразователи. Поэтому основное внимание при рассмотрении вопроса об источниках ультразвуковых колебаний мы посвятим преобразователям, основанным на использовании пьезоэлектрического эффекта [111, 120-127].

## 2.5. Применение ультразвука в сельском хозяйстве

УЗ обработка зерна и семян перед посадкой интенсифицирует процесс прорастания, повышает урожайность различных культур в среднем на 20-40% [128-134]. Так, обработанные ультразвуком зерна ячменя дают всходы на 2-3 дня раньше, чем контрольные посадки, длина колоса и количество зерен в нем

увеличиваются на 30%, количество стеблей от одного зерна также увеличивается на 25-30%. Механизм УЗ воздействия на зерно и семена до конца не исследован. Ясно только, что ультразвук способен стимулировать жизненные силы, заложенные природой в каждую сельскохозяйственную культуру. Экспериментальные исследования позволили установить, что УЗ воздействие в большей или меньшей степени, но всегда положительно влияет на процесс прорастания зерен и семян и увеличивает урожайность. Максимальное повышение урожайности отмечено у дынь – на 46%. Обработка семян огурцов перед посадкой приводит к тому, что междоузлия на взрослом растении (места образования плодов) формируются в полтора раза чаще, получаемые плоды отличаются от контрольных лучшим вкусом. Обработка семян томатов ультразвуком позволила установить, что после посадки кусты разрослись сильнее, плодов образовалось больше, созрели они быстрее, чем контрольные. Анализ состава плодов показал, что обработанные ультразвуком томаты имели большее количество витаминов, чем контрольные. Хорошие результаты были получены при обработке ультразвуком семян капусты, моркови, свеклы, лука. При обработке семян ультразвуком в них можно вносить необходимые микроэлементы, уничтожать возбудителей болезней и вредителей, активизировать ферменты. Так, например, УЗ-обработка семян редиса в растворе органических удобрений повышает урожайность на менее чем в 2 раза. При УЗ-обработке зерна и семян необходимо учитывать следующее. Обработка семян и зерен может осуществляться в воде или в водном растворе микроэлементов и удобрений. Обычно в качестве такого раствора используется водный раствор марганцовокислого калия. Признаком достаточной обработки может служить изменение цвета водного раствора марганцовокислого калия с розового до светло-желтого. При обработке семян в маленьких стеклянных объемах (менее 200 мл) время обработки должно быть уменьшено до 3 мин. При обработке зерна в больших объемах (например, в трехлитровых банках) допускается обрабатывать до 1 кг зерна, обеспечивая его перемешивание. В этом случае время обработки составляет 20 мин и перемешивание зерна осуществляется через каждые 1-2 мин. С помощью фитомиксера можно приготовить растворы и экстракты удобрений, в том числе экстракты дезинфицирующих веществ [111, 128-134].

## **2.6. Ультразвуковая сушильная установка**

Ультразвуковая сушка волокнистых материалов позволяет частично компенсировать ряд недостатков тепловой сушки, в частности высокую энергоемкость процесса. Скорость процесса УЗ-сушки определяется комплексом факторов [135, 136-140]: акустическими течениями, микропотоками около препятствий, радиационным давлением и кавитацией. Снижение энергоемкости процесса достигается благодаря удалению части влаги за счет распыления, минуя процесс испарения. Существует два различных подхода к реализации процесса сушки: с вводом колебаний через

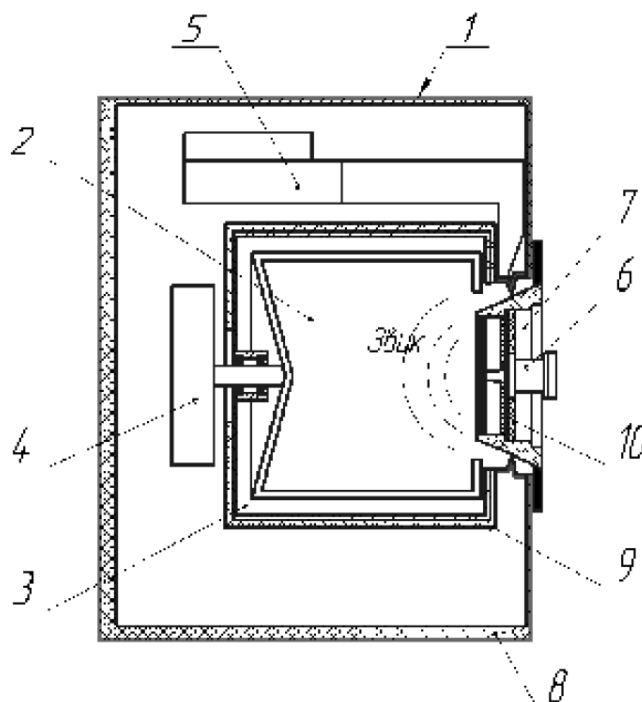
воздушную среду и с непосредственным вводом колебаний в высушиваемый материал [141-146].

Способ непосредственного воздействия колебаний через высушиваемый материал эффективен для сушки листовых материалов, а способ воздействия через воздушную среду – для насыпных. Ограниченное распространение УЗ-сушки на сегодняшний день обуславливается несовершенством устройств генерации УЗ-колебаний в воздушных средах.

Для проведения исследований была разработана и изготовлена малогабаритная сушилка барабанного типа периодического действия для сушки различных волокнистых материалов. Схема сушилки представлена на рисунке 2.11.

Сушилка состоит из наружного корпуса 1, покрытого слоем звукопоглощающего материала 8; барабана для размещения высушиваемого материала 2; внешнего барабана 3, покрытого слоем звукопоглощающего материала 9; привода вращения барабана для высушиваемого материала 4; устройства нагрева и циркуляции сушильного агента (воздуха) 5; акустического излучателя 6; установленного в дверце люка сушилки 7; расположенной в открытой торцевой части барабана 2. Основные параметры сушилки представлены в таблице 2.4.

В качестве источника УЗ-колебаний используется электроакустическая система, включающая в себя электронный генератор и акустический излучатель. При излучении во всех точках внутри барабана уровень интенсивности ультразвуковых колебаний оказался не менее 135 дБ, вблизи излучателя уровень интенсивности колебаний оказался в пределах 140-160 дБ.



**Рис. 2.11. Конструкция малогабаритной барабанной сушилки**

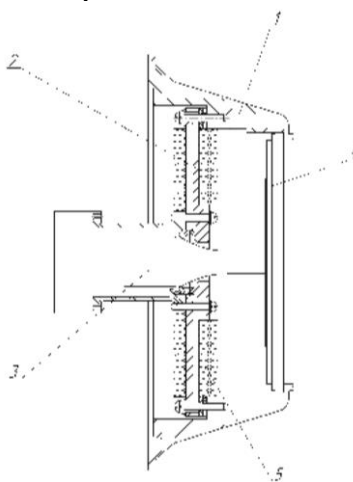
## Основные параметры созданной барабанной сушилки

№	Наименование параметр	Единица измерения
1	Объем барабана, л	60
2	Коэффициент заполнения, не более	0,5
3	Ворошение материала	вращением барабана
4	Сушильный агент	воздух
5	Температура сушильного агента, °С, не более	120
6	Мощность нагревателя, кВт, не более	2
7	Мощность УЗ колебаний, вводимых в камеру сушки, кВт, не более	0,35

При этом отражение УЗ-колебаний от стенок барабана способствовало образованию локальных дополнительных фокусов, расположенных в точках, удаленных от акустической оси излучателя [135, 147-151].

На рисунке 2.12 представлена конструкция созданного УЗ-излучателя. Излучатель смонтирован в крышке 1 люка барабана сушилки. Узел акустической развязки 2 предотвращает передачу колебаний от излучателя на крышку люка. Сам излучатель образован пьезоэлектрической ультразвуковой колебательной системой 3, возбуждающей колебания излучающего диска 4.

Питание УЗКС акустического излучателя осуществлялось от электронного генератора, в котором был реализован предложенный в настоящей работе способ управления технологическим аппаратом на базе согласования параметров компонентов электроакустической системы и технологической среды. Применение наружного барабана, окружающего барабан для высушиваемого материала, а также звукопоглощающих материалов позволило понизить уровень акустического излучения вне сушилки до безопасного уровня в 80 дБ на расстоянии одного метра от корпуса.



1-крышка; 2-узел акустической развязки; 3-ультразвуковая колебательная система; 4-возбуждающие колебания излучающего диска

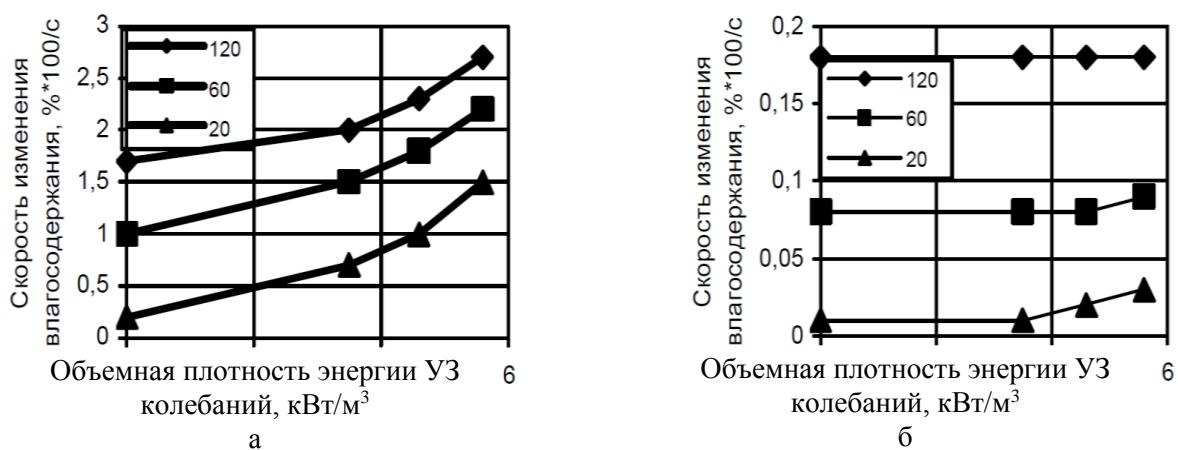
**Рис. 2.12. Конструкция акустического излучателя**

В качестве объекта сушки в экспериментальном исследовании использовано хлопковое волокно, широкий диапазон возможного варьирования, влагосодержание которого позволяло имитировать процесс сушки различных по влажности материалов. Кроме того, определение влагосодержания волокнистого материала в ходе эксперимента путем измерения веса проще, чем определение влагосодержания сыпучих материалов. Определение влагосодержания высушиваемого материала в ходе исследования процесса выполнялось по формуле:

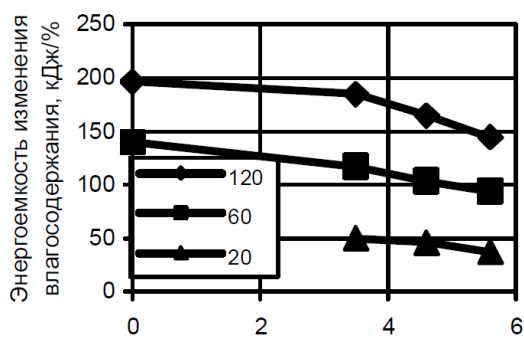
$$w = \frac{M_B - M_C}{M_C} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

где  $M_B$  – масса влажного образца материала, кг;  $M_C$  – масса сухого образца материала, кг.

В ходе исследований были определены зависимости скорости и удельной энергоемкости процесса сушки волокнистых материалов от объемной плотности энергии акустических колебаний, вводимых в камеру сушки, при различных температурах сушащего воздуха. На рисунке 2.13 представлены зависимости, соответствующие первому периоду сушки (влагосодержание 70%). На рисунке 2.14 представлены зависимости, соответствующие второму периоду сушки (влагосодержание 10%). Для поддержания в камере сушки температуры сушащего воздуха 120 °С требовалась мощность нагревателя из расчета 34 кВт/м<sup>3</sup>, а для поддержания температуры сушащего воздуха 60 °С – 14 кВт/м<sup>3</sup>. Температура сушащего воздуха 20 °С поддерживалась без использования нагревателя [136, 154-157].

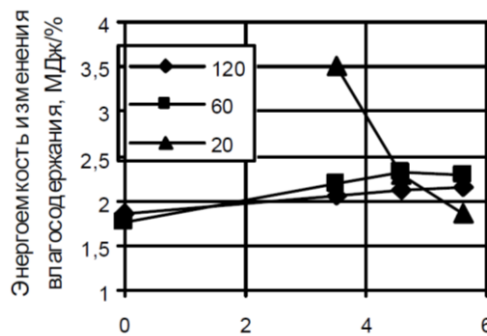


**Рис. 2.13. Зависимость скорости (а) и удельной энергоемкости (б) процесса ультразвуковой сушки хлопкового волокна при влагосодержании 70% и различных температурах сушащего воздуха**



Объемная плотность энергии УЗ колебаний, кВт/м<sup>3</sup>

а



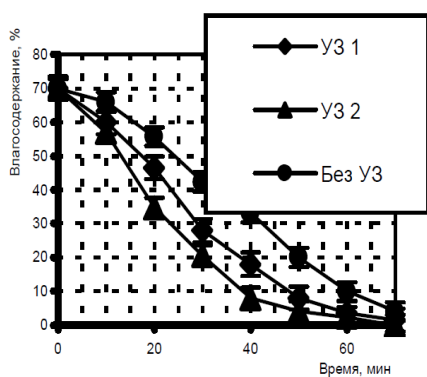
Объемная плотность энергии УЗ колебаний, кВт/м<sup>3</sup>

б

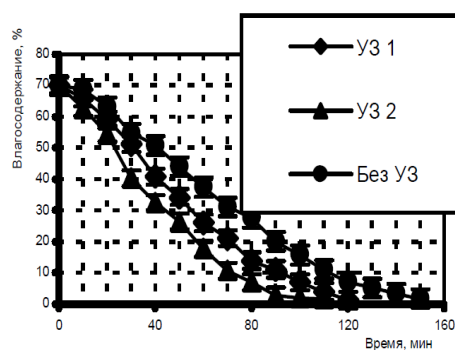
**Рис. 2.14. Зависимость скорости (а) и удельной энергоемкости (б) процесса ультразвуковой сушки хлопкового волокна при влагосодержании 10 % и различных температурах сушащего воздуха**

Анализ полученных данных показывает, что для достижения наибольшей эффективности процесса сушки в первом периоде следует осуществлять ввод максимально возможной энергии УЗ-колебаний, тогда как во втором периоде воздействие УЗ-колебаний не требуется. В связи с тем, что наиболее быстрые изменения свойств (температура, влажность) технологической среды (сушащего воздуха) происходят именно в начале процесса сушки, для обеспечения ввода в камеру сушки максимально возможной (для используемой электроакустической системы) энергии УЗ-колебаний требуется осуществлять перестройку параметров электроакустической системы для обеспечения условий оптимального согласования с технологической средой [135, 156-162].

На рисунке 2.15 представлена кинетика процесса сушки 1 кг хлопкового волокна от влагосодержания от 70 до 5%.



а)



б)

**Рис. 2.15. Кинетика процесса сушки хлопкового волокна при температуре сушащего воздуха 120 °С (а) и 60 °С (б)**

Сушка осуществлялась в созданной сушилке с применением различных источников энергии УЗ-колебаний, а также без применения УЗ-колебаний (конвективная сушка) при температуре сушащего воздуха 120 и 60 °С. График «УЗ1» соответствует вводу колебаний электроакустической системой (ЭАС №1), в которой не учитывается влияние свойств технологической среды на режим преобразования и ввода УЗ-колебаний. График «УЗ2» соответствует вводу колебаний электроакустической системой (ЭАС №2), в которой учитывается и компенсируется влияние изменения свойств технологической среды на режим преобразования и ввода энергии колебаний в соответствии с предложенным способом управления работой технологического аппарата. В таблице 2.5 представлены основные показатели процесса сушки хлопкового волокна, полученные в ходе эксперимента.

Таким образом, в ходе проведенного экспериментального исследования установлено, что эффективность процесса УЗ-сушки может быть повышена за счет совершенствования источников энергии УЗ-колебаний на базе согласования параметров компонентов ЭАС и технологических сред [135].

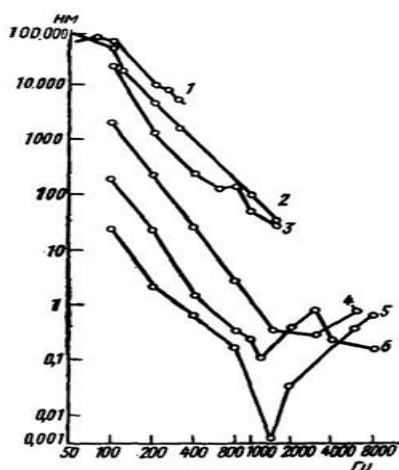
**Таблица 2.5**

**Основные показатели процесса сушки хлопкового волокна, полученные в ходе эксперимента**

Источник УЗ колебаний	Температура воздуха 120 °С		Температура воздуха 60 °С	
	Время сушки, мин	Затраченная энергия, МДж	Время сушки, мин	Затраченная энергия, МДж
ЭАС №1	55	7,3	103	6,5
ЭАС №2	47	6,7	87	6,1
Без УЗ	65	7,8	142	7,0

**2.7. Воздействие упругих волн на насекомых**

*Виброрецепция.* Многочисленные наблюдения и электрофизиологические данные свидетельствуют о способности насекомых воспринимать вибрации субстрата. Рецепторы, реагирующие на эти колебания, локализируются в ногах\*. Регистрируя суммарную активность сенсорных нейронов в ножных нервах, можно получить представление о чувствительности этих рецепторов. За порог реакции принимается то минимальное значение амплитуды смещения субстрата или ускорения, при которых наблюдаются ответы (рисунок 2.16) [163].



1-Carabus, 2-Vespa, 3-Bombus, 4-Pyrantels, 5-Periplaneta, 6-Liogryllus.

По оси абсцисс - частота, Гц; по оси ординат - амплитуда вибрации, нм

**Рис. 2.16. Частотно-пороговые характеристики ножных виброрецепторов**

В результате сравнительного изучения достаточно большого числа видов насекомых было установлено, что они могут быть условно разделены на две группы: высокочувствительные и малочувствительные (табл. 2.6). К первым относятся тараканы, прямокрылые, палочники, перепончатокрылые, жесткокрылые и другие, ко вторым - полужесткокрылые, двукрылые и некоторые жесткокрылые. Различия между этими группами касаются не только порогов реакции, но и оптимальных частот. В первом случае они обычно лежат в диапазоне 1-3 кГц, во втором - не превышают 0,4 кГц.

**Таблица 2.6**

**Чувствительность насекомых к вибрациям**

Группа	Виды	Оптимальная частота, кГц	Пороговая амплитуда, мкм
I	Periplaneta americana	1,4	0,000004
	Decticus verrucivorus	2,0	0,000036
	Tachyucines asynamorus	1,0	0,000068
	Liogryllus campestris	1,5	0,0001
	Melolontha melolontha	1,8	0,0001
	Vanessa atalanta	3,0	0,00029
	Carausius sp	1,5	0,00035
	Satyridae	2,0	0,0004
	Geotrupes sylvaticus	1,5	0,00048
	Stenobothrus sp	3,0	0,00062
	Vanessa io	2,0	0,00068
	Aeschna cyanea	3,0	0,0009
	Apls mellifera	2,5	0,013
	Andrena nitida	1,0	0,018
Camponotus sp.	2,0	0,019	

	<i>Forfikula auricularia</i>	1,2	0,019
	<i>Bombus soroensis</i>	1,5	0,032
	<i>Vespa crabro</i>	1,5	0,036
	<i>Pterostichus sp.</i>	0,8	0,040
	<i>Silpha obscura</i>	1,0	0,045
	<i>Agrotik sp.</i>	1,2	0,057
	<i>Pseudophonus sp.</i>	0,75	0,061
II	<i>Reduvius personatus</i>	0,25	1,0
	<i>Rhodnius prolixus</i>	0,4	1,3
	<i>Eristalis sp.</i>	0,2	6,59
	<i>Calliphora erithrocephala</i>	0,3	17,4

Сравнительно-анатомические материалы и результаты экстирпаций различных ножных рецепторов дают основание считать, что у чувствительных видов восприятие вибраций осуществляется преимущественно субгенуальными органами, а у малочувствительных - тибиигарзальными хордотональными органами и трихоидными сенсиллами на лапках. Такая закономерность прослеживается при сравнении многих групп насекомых, но ее все-таки нельзя считать универсальной, так как отсутствие субгенуального органа не исключает достаточно высокой чувствительности к вибрациям (*Melolontha*, *Geotrupes*), а при его наличии восприятие может осуществляться преимущественно другими рецепторами. Точное выяснение роли отдельных сенсилл или органов в этом процессе сопряжено с большими трудностями, поэтому достоверных данных получено пока немного [163].

Сходные результаты были получены при изучении ножных рецепторов сверчков (*Gryllus*). Оптимум чувствительности субгенуальных органов передних ног лежит в диапазоне 0,8-1 кГц, а задних - 0,4-0,5 кГц. Минимальные пороги (по амплитуде смещения) во всех трех случаях различались мало ( $1,4 \times 10^{-8}$ - $2,2 \times 10^{-8}$  см), но передние рецепторы оказались менее чувствительными к ускорению. Искусственное утяжеление задних ног не влияло на функции рецепторов, поэтому можно считать, что их характеристики определяются только механическими свойствами самих субгенуальных органов. Сравнение органов трех пар ног показывает, что их оптимальные частоты находятся в обратной зависимости от собственной массы [163].

Указанные выше данные находятся в соответствии с модельными представлениями, согласно которым субгенуальный орган рассматривается как эластичная мембрана с массой в центре, натянутая в сосуде с жидкостью. Сотрясение такой системы вызывает смещение массы и колебания мембраны, регистрируемые измерителем (сенсиллами).

У муравьев-листорезов (*Atta*) ножные рецепторы реагируют на звуки в диапазоне 0,05-4 (7) кГц. Оптимум чувствительности по амплитуде смещения лежит в области 1-3 кГц (минимальный порог -  $1,3 \times 10^{-7}$  см), а по ускорению - 0,1-2 кГц (порог -  $2,5 \text{ см/с}^2$ ). Наиболее чувствительные сенсиллы находятся в передних ногах, причем солдаты менее восприимчивы к вибрациям, чем

рабочие. Селективное разрушение разных рецепторов показало, что на колебания субстрата реагируют главным образом кампаниформные сенсиллы, расположенные в области сочленения вертлуга и бедра. Роль субгенуальных органов в этом случае остается неясной.

Вибрации, воспринимаемые насекомыми в естественных условиях, возникают под действием абиотических факторов (ветер, дождь и т.п.) и в результате активности животных (в том числе и особей своего вида). Обычно сотрясения субстрата происходят при передвижении, питании, прокладывании ходов, строительстве и других видах жизнедеятельности. Но кроме того, многие насекомые специально стучат по окружающим предметам различными частями тела или царапают их мандибулами\*. В некоторых случаях субстрат (например сухие листья) служит только для усиления звука, в других же он используется как канал связи, а распространяющиеся в нем колебания служат сигналами, несущими определенную информацию. Такая коммуникация хорошо развита у общественных насекомых (термитов, муравьев, пчел, ос), а также у веснянок (Plecoptera), сеноедов (Psocoptera), жуков-точильщиков (Anobiidae) и др. У одиночно живущих насекомых эти сигналы используются для привлечения особей противоположного пола. Термиты стучат по стенкам гнезда в случае опасности. Воспроизведение этих колебаний вызывает у них серию защитных реакций. Голодные личинки ос получают пищу, если они царапают стенки ячеек мандибулами. Некоторые муравьи (*Atta*, *Megaponera*), оказавшись под слоем почвы, издают «сигналы бедствия», привлекающие внимание особей, находящихся на поверхности. Виды, живущие в древесине (*Catnponotus*), стучат по субстрату при появлении опасности или повреждении гнезда. Очень большую роль подобные сигналы играют в жизни пчел. Малейшие сотрясения улья вызывают у них активную защитную реакцию. Доказано также, что матки медоносной пчелы отвечают на «кваканье» других маток или его имитацию только в том случае, если сигнал передается через субстрат. У безжалых пчел (*Melipona*) разведчица стимулирует фуражиров на вылет за пищей, издавая специальные звуки. Их восприятие осуществляется виброрецепторами, так как покрытие пола улья резиной полностью исключает реакцию [163].

Анализ функциональной организации виброрецепторов свидетельствует о том, что они адаптированы для восприятия коммуникационных сигналов. Так, у термитов (*Zootermopsis angusticollis*) оптимальная частота сенсилл субгенуальных органов (1,15 кГц) почти совпадает с доминирующей частотой сигнала тревоги (1,14 кГц). Аналогичное соответствие имеется между частотным оптимумом рецепторов муравьев (*Atta*) и спектром прошедших через почву «сигналов бедствия».

Помимо вибраций твердого субстрата насекомые могут воспринимать колебания поверхностной пленки воды. Водомерки (*Gerridae*) используют такие волны не только для обнаружения добычи (насекомых, плавающих на поверхности), но и для внутривидовой коммуникации в период размножения. Восприятие колебаний осуществляется различными механорецепторами ног.

Минимальные пороги их реакций достигают 1 мкм на частоте 200-300 Гц.

У жуков-вертячек (*Gyrinidae*) эти функции выполняет Джоистонов орган. Второй членик их антенн скользит по воде, а подвижно сочлененный с ним утолщенный жгутик располагается над поверхностью. Колебания второго членика вызывают смещение его относительно жгутика, что приводит к возбуждению хордотональных сенсилл. В целом антенна представляет собой вибрационную систему с резонансной частотой, близкой к 250 Гц. В области частот, не превышающих 150 Гц, она работает как измеритель ускорений. Согласно электрофизиологическим данным, рецептор реагирует на колебания, амплитуда которых достигает нескольких микрон, причем его чувствительность возрастает с увеличением частоты. Во время движения жуки могут определять искривления поверхностной пленки (мениск) вблизи преград с расстояния 0,5-1,5 см и избегать столкновений [165].

*Воздействие акустических волн на тело вредителя растений.* В основу акустического способа уничтожения колорадского жука положен физический принцип, заключающийся в механическом воздействии на ткани органов жука давлением с последующим их разрывом. Способ, от разработанных ранее Г.И.Соколом [164-167] отличается тем, что механическое воздействие производят акустическими колебаниями с амплитудой звукового давления в воздухе, равной отношению силы разрыва соединительных тканей и органов жука к их площади сечения, с частотой, равной собственной частоте тела жука или собственной частоте одного из его жизненно важных органов. В литературе имеются определенные экспериментальные данные того, что резонансные частоты органов человека [168]. Лежат в области частот, находящихся ниже 60 Гц. Диапазон резонансных частот отдельных органов человека (голова 20-100 Гц, вестибулярный аппарат от 0,5 до 13 Гц, сердце от 4 до 6 Гц). Губительные резонансные частоты колебаний для вредителей растений в литературе не приводятся.

Однако имеются данные о механических характеристиках биологических тканей (кожа, мышцы, ткани внутренних органов, костей, хрящей и т.д.). В работе Т.Н.Пашовкина и А.П.Сарвазяна [169-170] высказано предположение, что высокая информативность механических характеристик обусловлена наличием и качеством контактов между элементами, составляющими ткань. Предложено оценки механических характеристик биологических тканей проводить по динамическому модулю сдвига, динамической вязкости. Приведены данные о вязкоупругих свойствах мягких тканей (почек, печени, сердца, кишечника, селезенки, кожи, мозга) кроликов, лягушек, кур и кожного покрова человека. Механические характеристики ткани вредителей растений в работе не исследовались.

Когда тело вредного насекомого помещается в акустическое поле (см. рисунке 2.17, на котором представлена схема воздействия акустических волн на тело насекомого), то волновое воздействие описывается избыточным, то есть звуковым давлением  $p_i$ , которое находится из уравнения для плоской волны

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c_0^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}, \quad (2.2)$$

где  $P$ -звуковое давление,  $t$ -время,  $C_0$  - скорость звука,  $x$ -координата.

Его решение для  $P_i$  имеет известный вид

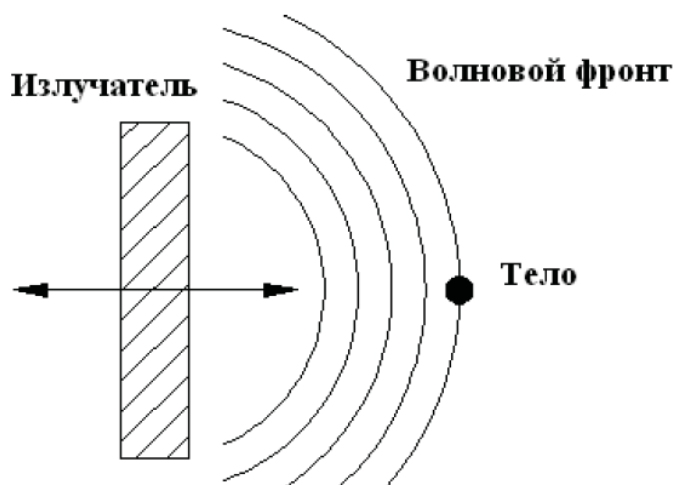
$$p_i = p_m \sin \omega t, \quad (2.3)$$

где  $p_m$ -амплитудное значение звукового давления,  $\omega$ -круговая частота.

То есть на панцирь действует переменное давление с амплитудой  $p_m$ . Проникая через панцирь, акустические волны воздействуют на внутренние органы. Значение уровня  $p_m$ , равное 120 дБ и губительное для жука, было определено экспериментально [168-170].

Поэтому дальнейшие усилия Г.И.Сокола [164] в моделировании были направлены на определение частотных характеристик того органа, ткани которого могли быть подвержены разрыву. Им предполагалось что, этот орган должен представлять собой некую механическую систему, обладающую резонансными качествами. Для лабораторного опробования акустического метода уничтожения вредного насекомого использовались вибростенд УВЭ-100/5-3000 и весы [169]. Масса вредных насекомых, подвергнутых воздействию акустическими волнами, составляла 100-250 мг. Время воздействия было ограничено 2-3,5 минутами.

Воздействие проводилось на фиксированной частоте в диапазоне 900-1500 Гц. Насекомое подвешивалось в марлевом мешочке над столом вибростенда на расстоянии от поверхности стола 0,2-0,7 м. Уровень звукового давления измерялся микрофоном, который находился рядом с телом насекомого, шумомером ИШВ-1.



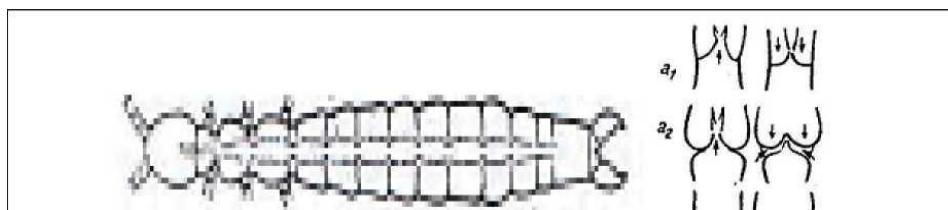
**Рис. 2.17. Схема воздействия акустических волн на тело насекомого**

Осмотр проведенных работ Г.И.Сокола показывает, что вредное насекомое, непосредственно после воздействия без признаков жизни имело массу 110 мг, в момент воздействия акустических волн частотой 1000 Гц. Осмотр вредного насекомого через 6 часов показал, что действительно наступила биологическая смерть указанного вредного насекомого. Проведенный осмотр вредных насекомых через 24 часа выявил, что наступила

биологическая смерть всех вредных насекомых, подвергшихся акустическим воздействиям. Полученные результаты подтвердили возможность уничтожения вредных насекомых акустическими волнами. Для проведения экспериментальных исследований с целью подтверждения предложенного способа осуществлено проектирование и изготовление действующего макета акустического генератора [169]. Испытание воздействия акустических волн на вредных насекомых было проведено в полевых условиях дачного участка. Для проведения испытаний и осуществления необходимых измерений им была собрана схема, состоящая из генератора и измерительных приборов. Куст картофеля, на котором находились вредители, полностью накрывался концентратором акустической энергии. Анализирующий и вычислительный комплекс состоял из блока питания БП, микрофона МК и компьютера.

По результатам проведенных экспериментов Г.И.Сокола рассчитана жесткость тела колорадского жука, ее величина составляла  $C_{ж}=8,86 \times 10^6$  Н/м. Прикидочный расчет величины жесткости печени человека дало величину  $4 \times 10^6$  Н/м.

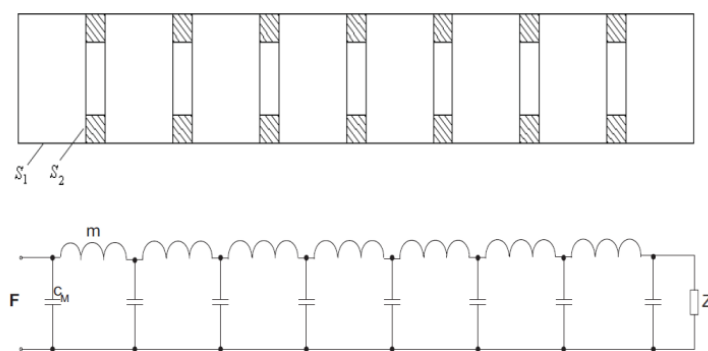
Аппроксимирование механической модели сердца колорадского жука на основе известных моделей акустических систем дало следующее. Учитывая, что длина тела насекомого  $\sim 1$  см, а ширина  $\sim 7$  мм и строение тела жука состоит из головы, груди, брюшка, то длина брюшка равна примерно 8 мм. Сердце проходит через все брюшко в виде многокамерной механической системы [171], один конец которой обычно замкнут (рисунок 2.16) и на первый взгляд напоминает длинную тонкую трубку. Длина всей сердечной системы  $L \sim 8$  мм. Брюшной отдел имеет 9-10 сегментов, сердце вздуто в каждом сегменте. В первом брюшном сегменте обособленной камеры часто нет. Таким образом, Г.И.Сокол определяет данные его объекта при условии, что брюшной отдел жука имеет 9 сегментов, то количество камер - 8 и они наполнены кровью. Сегменты соединены остиями. Через остии кровь движется из перикардиального синуса в сердце, кроме того, они регулируют это движение. Остии представляют собой отверстия в боковой стенке сердца. Основные характеристики сердца колорадского жука определялись не путем измерений, а по габаритным размерам, приведенным на рисунках в энциклопедии [174-174]. На рисунке 2.19 представлены:  $a_1, a_2, \dots$  - остии сердечной системы, находящиеся внутри камер и соединяющие их между собой, индекс указывает принадлежность остии к передней или задней камере соответственно [171].



**Рис. 2.18. Схема колорадского жука**

На первом этапе аппроксимируем сердце трубой с жесткими стенками, закрытой с одного конца, и длиной  $L$ . Используем метод расчета резонансной частоты для трубы, закрытой с одного конца, изложенный у Е. Скучика [172].

Расчет Г.И.Сокола [164] резонансной частоты модели дал результат:  $f_{PE3}=C/4L=46875$  Гц (с скоростью звука в жидкости типа крови,  $C=1500$  м/с). Полученный результат не отвечает диапазону частот, при которых зафиксирована гибель колорадского жука в проведенных вибрационных экспериментах [169]. Гибель жука была зарегистрирована на частотах 1000-1500 Гц. Поэтому им была разработана вторая модель сердца колорадского жука как акустической системы на основе метода электромеханических аналогий [173]. На рисунке 2.19 представлена сердечная система в виде последовательно соединенных камер, напоминающая своеобразный фильтр.



**Рис. 2.19. Схема сердечной системы в виде последовательно соединенных камер**

Г.И.Сокол массу сердца определял как

$$T = \rho l S_2, \quad (2.4)$$

где  $\rho$  - плотность крови,  $l$  - длина сечения остий,  $S_2$  - площадь поперечного сечения остий.

Жесткость объема отдельной камеры по М.А.Сапожкову [173] равна

$$C_M = V / \gamma p_{ac} S_2^2, \quad (2.5)$$

где  $V$  - объем камеры,  $\gamma$  - удельный вес крови,  $p_{ac}$  - давление внутри камеры.

В схеме модели сердца имеется 8 камер, расположенных по длине всей сердечной системы  $L=6$  мм  $= 6 \times 10^{-3}$  м. Для расчета использовались данные: длина одной из камер сердечной системы  $l_k=7,5 \times 10^{-4}$  м, площадь поперечного сечения камер  $S_1 = \pi d_1^2 / 4 \approx 1 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ , где  $d_1$  - диаметр камеры.

На основе размеров тела жука, приведенных в энциклопедическом словаре Ф.А.Брокгауза [174] принимаем, что высота тела колорадского жука  $\sim 3,5$  мм, а диаметр остии примерно равен 1/7 от диаметра тела насекомого, тогда имеем данные для расчета:  $d_1 = 5 \times 10^{-4}$  м. Плотность крови составляет  $\rho = 1 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Согласно предыдущим работам Г.И.Сокола [167] масса одной камеры  $T = 7,5 \times 10^{-8}$  кг. Тогда суммарная масса имеющихся камер  $T_\Sigma = 6 \times 10^{-7}$  кг. Объем  $V$  одной камеры массой  $T$  равен  $V = T / \rho = 7,5 \times 10^{-11} \text{ м}^3$ .

При условном счёте акустическое давление крови внутри камеры составляло  $P_{AC}=200 \text{ Н/м}^2$ , а удельный вес  $\gamma=9810 \text{ Н/м}^3$ . Гибкость полости одной из камер  $K=V/\gamma P_{AC} S^2=3,8 \times 10^{-3} \text{ м/Н}$ . Для многокамерного сердца насекомого жесткость имеющихся камер  $C_{\Sigma}$  может быть записана как

$$\frac{1}{C_{\Sigma}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_8}, \quad (2.6)$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_8$  - величины жесткостей, которые отвечают соответствующей камере в сердечной системе насекомого.

Жесткость одной камеры  $C=1/K=263 \text{ Н/м}$ . Согласно работам (5) определялась суммарная жесткость имеющихся камер  $1/C_{\Sigma} = 1/263 \times 8=3,04 \times 10^{-2} \text{ Н/м}$ . Следовательно  $C_{\Sigma}= 32,8 \text{ Н/м}$ . Резонансная частота сердца колорадского жука составила  $f=1179 \text{ Гц}$ .

Полученный результат отвечает диапазону резонансных частот, которые были определены как губительные для колорадского жука во время проведенных испытаний.

Третий метод определения резонансной частоты сердца колорадского жука на основе данных работы Ю.Ч.Фына [175]. Используя их можно рассчитать жесткость и упругость капиллярной мышцы сердца насекомого. Ю.Ч.Фын разработал кривые зависимости удлинения от нагрузки для образца сердечной капиллярной мышцы кролика при периодической нагрузке и разгрузке с постоянной скоростью. Исследования проведены при температуре  $37 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , удлинение мышцы составило  $L_0=0,936 \text{ см}$ . Воспользовавшись полученными данными, Г.И.Сокол [164] рассчитал жесткость и упругость капиллярной мышцы колорадского жука. Считая при этом, что капиллярные мышцы сердца кролика и колорадского жука имеют одинаковые механические характеристики. Действительная сила  $F=0,01 \text{ кг}$ , удлинение мышцы насекомого  $x=1/0,12 \text{ м}$ . Тогда жесткость мышцы сердца составила величину  $C=F/x=0,0012 \text{ кг/м}$ , а гибкость  $K=1/C=833,3 \text{ Н/м}$ .

Определим резонансную частоту сердца колорадского жука, используя ранее полученные значения Г.И.Соколом массы [169]. Резонансная частота сердца колорадского жука составила  $f=638 \text{ Гц}$ . Этот результат по своему порядку также близок к тем частотам, что оказались губительными для колорадского жука во время воздействия вибрациями. Таким образом, полученный результат Г.И.Сокола [164] подтверждает, что в результате исследований, колорадский жук погиб из-за повреждения сердца.

## 2.8. Виброускорение, виброскорость и виброперемещение

Виброускорение – это значение вибрации, прямо связанное с силой, вызвавшей вибрацию. Виброускорение характеризует то силовое динамическое взаимодействие элементов внутри агрегата, которое вызвало данную вибрацию. Обычно отображается амплитудой (Пик, Peak) - максимальное по модулю значение ускорения в сигнале. Применение виброускорения теоретически идеально, т. к. пьезодатчик (акселерометр) измеряет именно ускорение и его не

нужно специально преобразовывать. Недостатком является то, что для него нет практических разработок по нормам и пороговым уровням, нет общепринятого физического и спектрального толкования особенностей проявления виброускорения. Успешно применяется при диагностике дефектов, имеющих ударную природу - в подшипниках качения, редукторах [176].

*Виброускорение измеряется в:*

- метрах на секунду в квадрате ( $\text{м/с}^2$ )
- G, где  $1G = 9,81 \text{ м/с}^2$
- децибелах, должен быть указан уровень 0 дБ. Если не указан, то берётся значение  $10^{-6} \text{ м/с}^2$

*Перевести виброускорение в дБ.*

Для стандартного уровня 0 дБ =  $10^{-6} \text{ м/с}^2$ :

$$AdB = 20 * \lg 10(A) + 120;$$

AdB – виброускорение в децибелах;

$\lg 10$  – десятичный логарифм (логарифм по основанию 10);

A – виброускорение в  $\text{м/с}^2$ ;

120 дБ – уровень  $1 \text{ м/с}^2$ .

Виброскорость – это скорость перемещения контролируемой точки оборудования во время её прецессии вдоль оси измерения.

В практике измеряется обычно не максимальное значение виброскорости, а ее среднеквадратичное значение, СКЗ (RMS). Физическая суть параметра СКЗ виброскорости состоит в равенстве энергетического воздействия на опоры машины реального вибросигнала и фиктивного постоянного, численно равного по величине СКЗ. Использование значения СКЗ обусловлено ещё и тем, что раньше измерения вибрации велись стрелочными приборами, а они все по принципу действия являются интегрирующими, и показывают именно среднеквадратичное значение переменного сигнала [176].

Из двух широко применяемых на практике представлений вибросигналов (виброскорость и виброперемещение) предпочтительнее использование виброскорости, так как это параметр, сразу учитывающий и перемещение контролируемой точки и энергетическое воздействие на опоры от сил, вызвавших вибрацию. Информативность виброперемещения может сравниться с информативностью виброскорости только при условии, когда дополнительно, кроме размаха колебаний, будут учтены частоты, как всего колебания, так и его отдельных составляющих. На практике сделать это весьма проблематично.

*Виброскорость измеряется в:*

- миллиметрах на секунду ( $\text{мм/с}$ );
- дюймов в секунду [ $\text{in/s}$ ]:  $1 \text{ in/s} = 25,4 \text{ мм/с}$ ;
- децибелах, должен быть указан уровень 0 дБ. Если не указан, то берётся значение  $5 * 10^{-5} \text{ мм/с}$ ;

*Перевести виброскорость в дБ.*

Для стандартного уровня 0 дБ =  $5 * 10^{-5} \text{ мм/с}$ :

$$VdB = 20 * \lg 10(V) + 86;$$

VdB – виброскорость в децибелах;

lg10 – десятичный логарифм (логарифм по основанию 10);

V – виброскорость в мм/с;

86 дБ – уровень 1 мм/с.

Ниже в таблица 2.7 приведены значения виброскорости в дБ для стандартного ряда норм вибрации. Видно, что разница между соседними значениями – 4 дБ. Это соответствует разнице в 1,58 раза [176].

**Таблица 2.7**

**Измерения виброскорости.**

Виброскорость, мм/с	Виброскорость, дБ
45	119
28	115
18	111
11,2	107
7,1	103
4,5	99
2,8	95
1,8	91
1,12	87
0,71	83

*Виброперемещение измеряется в линейных единицах:*

- в микрометрах (мкм);
- в миллиметрах (мм): 1 мм = 1000 мкм;
- в милсах, миллидьюмах (mils): 1000 mils = 1 дюйм, 1 mil = 25,4 мкм, 1000 mils = 25,4 мм.

Виброперемещение (вибросмещение, смещение) показывает максимальные границы перемещения контролируемой точки в процессе вибрации. Обычно отображается размахом (двойной амплитудой, Пик-Пик, Peak to peak). Виброперемещение – это расстояние между крайними точками перемещения элемента вращающегося оборудования вдоль оси измерения [176].

## **2.9. Исследования действия инфразвука на биологические объекты**

В настоящее время накоплен довольно большой опыт по выявлению признаков отрицательного воздействия ИЗ с высоким уровнем интенсивности на живые организмы [177-179]. Экспериментально удалось установить, что домашние животные слышат ИЗ частотой 8-12 Гц [180]. Ученые Корнельского университета в США доказали [180], что домашние голуби слышат ИЗ-колебания частотой ниже 1 Гц. Высказано предположение, что таким образом

птицы ориентируются в пространстве при дальних перелетах и далеко обходят зоны штормов и извержений вулканов.

Несколько лет назад выяснено [180], что слоны общаются между собой на расстояниях 50-100 км с помощью ИЗ-сигналов, частота которых составляет 14-24 Гц. Есть предположение о генерировании ИЗ-волн мембраной, расположенной на голове слона в месте соединения хобота с черепом [177].

Хотя механизмы улавливания ИЗ-волн выяснены еще не у всех особей животного мира, тем не менее те факты, что обитатели морей заблаговременно “знают” о приближении шторма, а животный мир Земли чувствует приближение землетрясений и извержений вулканов свидетельствует о наличии у животных, рыб, птиц органов, их улавливающих. В пользу этого предположения свидетельствует тот факт, что аномальное поведение животного мира начинается за некоторое время до начала стихийных явлений. ИЗ от появления микротрещин в земной коре вполне может служить сигналом о предстоящей стихии [180]. Японцам рекомендуется дома иметь аквариум со специальной белой рыбкой, которая за несколько часов до начала землетрясения начинает беспокойно себя вести [177].

В настоящее время выяснено, как улавливает ИЗ медуза [180]. Она имеет маленький пузырек-колбочку, заполненный студенистой массой и висящий на стебельке тела медузы. Внутри колбочки в ее центре имеется маленький известковый шарик. Колебания воды вызывают изменение положение тела медузы, шарик смещается и соприкасается со стенкой колбочки, раздражая имеющиеся там нервные окончания. Улавливая ИЗ задолго до начала шторма, медуза уплывает в глубины моря, спасаясь от бури шторма.

При полете саранчи [181] возникают звуки с частотой 17-20 Гц, которые имеют важное значение для поведения насекомых. Если проиграть эти звуки, записанные на магнитную ленту, стая саранчи взлетает. Насекомые с поврежденными органами слуха не способны подняться в воздух при действии такого звука. А это значит, что сам звук полета стаи является мощнейшим акустическим раздражителем, определяющим поведение каждого насекомого в отдельности и стаи в целом [177].

Основной характерной особенностью ИЗ-волн является то, что они не воспринимаются органами слуха человека. Экспериментально выведена зависимость порога болевого ощущения и порога слышимости от частотного диапазона в герцах и уровня интенсивности звука в децибелах [178, 181].

Проводились различного рода исследования по выявлению влияния ИЗ на организмы людей. В работе [181] отмечено, что низкочастотные волны могут

вызывать сильную боль в ушах, нарушение работы органов равновесия. Действие ИЗ сопровождается ощущением вращения, раскачивания, произвольным поворотом глазных яблок, чувством неудобства, тревоги, иногда страха. В.Нихсон Чарлес исследовал реакцию слуховой системы человека на интенсивный ИЗ [182].

В одном из экспериментов [183] воздействие осуществляли в обычной комнате на органы слуха через наушники. Появилась головная боль, тошнота, головокружение. В наушниках, представляющих собой два 15-ти ваттных микрофона диаметром около 30 см, испытуемые ощущали отрицательное воздействие ИЗ. Эксперименты подтвердили потерю равновесия при действии ИЗ на организм [177].

Серией экспериментов над десятками людей установлено [180], что воздействие колебаний частотой 2-15 Гц и интенсивностью 95-105 дБ вызывает замедление зрительной реакции, увеличивает число ошибок слежения за измерительными приборами, нарушает функции вестибулярного аппарата [177].

Donn W.J. [180] описал такие же симптомы у летчиков и космонавтов при воздействии ИЗ на их организмы. И.А. Варганян [181] описывает некоторые результаты обследования лиц, длительное пребывание которых вблизи аэродромов и ракетных полигонов показало, что болезненные симптомы нарушения функций внутренних органов у этих людей были обусловлены сверхнизкими частотными компонентами звука, входящими в состав шумов реактивных двигателей. Г.Г.Мохр, Ж.Н.Коле и у других авторов [184] описано проведение физиологических экспериментов в камере с возбуждением ИЗ турбореактивным двигателем.

Наиболее общими физическими эффектами, наблюдаемыми при воздействии инфразвука на организм, являются изменение ритмов дыхания и биений сердца, расстройство желудка и центральной нервной системы, головные боли. Инфразвук больших уровней (более 140 дБ) при кратковременном воздействии вызывает тошноту, боли в желудке, головные боли, головокружение, чувство беспокойства. При интеллектуальном труде в тихом помещении едва заметный на слух инфразвук вызывает тошноту и утомление через 2 ч [177].

Сейчас известны собственные резонансные частоты колебаний органов человека [180]. Голова: 20-30 Гц, глаза: 40-100 Гц, вестибулярный аппарат: 0,5-13 Гц, сердце: 4-6 Гц, позвоночник: 4-6 Гц, желудок: 2-3 Гц, кишечник: 2-4 Гц, почки: 6-8 Гц, руки: 2-5 Гц. Приведенные данные свидетельствуют об

опасности для здоровья при воздействии интенсивных ИЗ-волн и НЧ-вибраций на организмы людей. Особенно при совпадении резонансных частот отдельных органов или всего тела в целом любого биологического объекта и ИЗ-частот [181]. Профессор В.Гавро полагает [180], что наиболее опасны для человека ИЗ-волны частотой 4-8 Гц.

Электромагнитное возбуждение ИЗ в проводящей среде изучили Г.А. Ляхов и Н.В. Суязов [185]. В работе проведен сравнительный анализ механизмов взаимодействия электромагнитных полей глобального резонатора с гидродинамическими и акустическими возмущениями в проводящей среде. Получено в явном аналитическом виде универсальное граничное условие на поверхности раздела воздух-проводящая среда для длинноволновых электромагнитных полей. Оценена эффективность возбуждения ИЗ-колебаний проводящей среды в поле глобального резонатора [177].

Связь между ударными волнами и акустическим полем, возникающим при действии ударных волн на среду, а также спектральный состав колебаний рассмотрены в работах [185].

Интересны работы по изучению колебаний в сложных газодинамических системах, элементами которых являются струи и различного рода полости (резонаторы). Результаты работ [177], в принципе, применимы и для низких частот.

*Вибрации на инфразвуковых частотах.* Международные стандарты в технике измерений вибрационных полей установили предельные уровни НЧ шумов. Указано, что с понижением частоты стирается разница между воздействием на организм человека НЧ вибрации и воздействием шума с ИЗ-составляющей [180]. В отличие от акустической вибрации, действующей через среду, вибрация, непосредственно действующая на тело человека, может быть общей и локальной [180]. Работы [183, 180] посвящены исследованиям механизмов возбуждения НЧ вибраций и их влиянию на организмы людей. В частности, воздействию локальной вибрации и защите от ее действия посвящена работа Микулинского А.М. и его соавторов [186].

Э.Эикмав, А.Ж.Х.Эикмав, А.Ж.Х.Вендрик показали, что совпадение собственной частоты тела человека с частотой ИЗ вызывает сильное раздражение рецепторного аппарата [187]. Действие шума высокой интенсивности и пороги вибрационной чувствительности рассмотрел Ю.В.Крылов [188]. Влияние частоты вертикальных колебаний на выполнение задачи чтения цифрового материала исследовали С.Х.Левис, М.Ж.Гриффин [189].

Неблагоприятное действие вибрации зависит от ее интенсивности: частоты, направления и длительности воздействия.

В работах Е.Ц. Андреевой-Галаниной и Н.И. Карповой указано, что вибрации, частотой 7 Гц вызывают спазмы сосудов. Также обнаружено, что у

работающих с низкочастотными пневматическими молотками, заставляющими вибрировать руки человека с частотой 20-25 Гц, обнаружены явления атонии капилляров. В спектре частот от 0 до 600 Гц доля НЧ составляющих-7% [190].

Н. Павлова определяла электрическую чувствительность или количество нервных сокращений тканей нервно-мышечного аппарата руки под действием вибрации. В диапазоне 10-24 Гц единичные сокращения сливаются в сплошной тетанус у клепальщиков [177].

При действии вибрации на ткани организма механические характеристики тканей могут изменяться по отношению к медленным воздействиям, при этом значительно ускоряются обменные процессы.

*Особенности распространения инфразвуковых волн.* В ИЗ-волнах связь температуры и давления подчиняется законам классической механики. При малых амплитудах распространение ИЗ-волн рассматривается в линейном приближении [177].

Теория распространения звуковых волн в линейном приближении изложена в широко известных работах [177]. Линейная теория предполагает исключение сил трения, наличие идеальной среды, где распространяются волны. При этом предполагается, что в процессе волнового движения агрегатное состояние вещества не изменяется, среда сплошная и однородная. Движение волн потенциальное, безвихревые. Плотность среды подвержена малым изменениям относительно ее постоянного значения в покоящейся среде. При малых деформациях избыточное давление линейно пропорционально деформации, которую оно производит, то есть имеет место закон Гука.

И.Пимонов в монографии приводит математические выражения для расчетов перемещения, колебательной скорости и ускорения в плоской акустической волне, сопровождая рекомендациями на случай ИЗ-диапазона акустических волн. В монографии приведены таблицы и графики с расчетными значениями скорости звука в различных средах, зависимости длины ИЗ-волны от частоты, соотношения между значениями величины звукового давления в микробарах и уровнем звукового давления в децибелах (дБ). Рассмотрено поверхностное взаимодействие воздушных и подводных волн. Однако автор не приводит математических выражений для уровня звукового давления, интенсивности для случая распространения в среде сферической, цилиндрической ИЗ-волны [177].

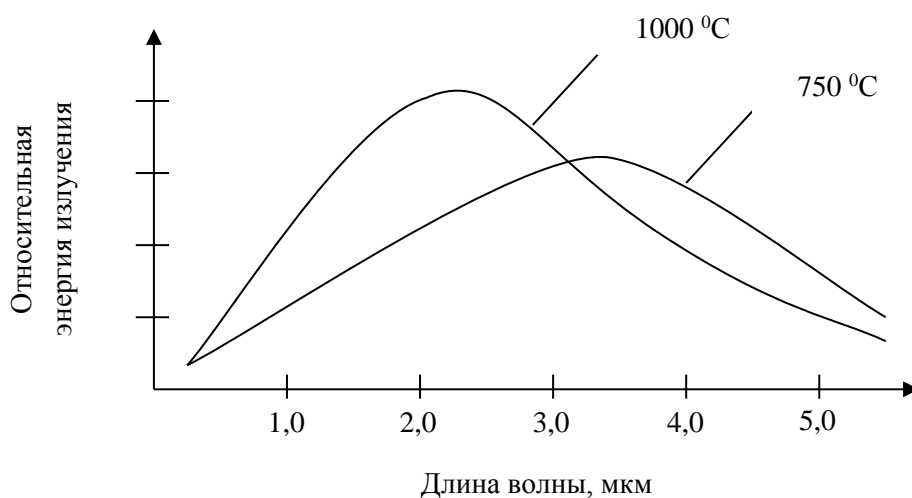
Обычно применяемые для работы в водной среде мощные акустические излучатели ультразвуковых частот выполнены как магнитострикционные, пьезоэлектрические, электроакустические и параметрического типа. Акустические поля таких излучателей часто характеризуются нелинейными

характеристиками. Прямой аналог излучателей такого типа на ИЗ-частотах часто создать невозможно. Однако следует рассмотреть результаты некоторых работ [177] по конструированию излучателей указанных типов с целью возможного использования полученных результатов при работе излучателей в области низких частот.

НЧ-излучатели дискретной частоты, созданные на основе взаимодействия струи с клином, описаны во многих работах. Механизм генерирования акустических волн описан в работе [177].

## 2.10. Переработка продукции растительного происхождения инфракрасными лучами

Инфракрасная сушка инфракрасными лучами за последнее время получила широкое развитие в различных отраслях промышленности [191-198]. Инфракрасное излучение – это разновидность электромагнитного излучения, занимающего в спектре электромагнитных волн диапазон от 0,77 до 340 мкм. При этом диапазон от 0,77 до 15 мкм считается коротковолновым, от 15 до 100 мкм – средневолновым, а от 100 до 340 – длинноволновым.



**Рис. 2.20. Спектральное распределение энергии излучения инфракрасных излучателей**

ИК-технология при температуре высушиваемого продукта не более 65-70<sup>0</sup>C позволяет производить сушку за короткое время (30-180 мин).

Источником энергии при инфракрасном нагреве служат инфракрасные излучатели, состоящие из собственно источника энергии (нагретого тела) и отражателя. В зависимости от степени нагрева источников их условно подразделяют на низкотемпературные, нагреваемые до температур менее 700 °C, среднетемпературные – 700-1500 °C (рисунок 2.20), высокотемпературные –

выше 1500 °С [199]. В качестве источников энергии применяют: трубчатые электрические нагреватели, зеркальные сушильные лампы; электрические нагреватели, состоящие из вольфрамовой спирали, помещенной в герметическую кварцевую трубку, наполненную инертным газом и парами йода и др. Установки инфракрасного нагрева представляют собой камеры, шкафы, туннели или колпаки, панели, размеры и формы которых соответствуют размерам и форме обрабатываемых изделий. Излучатели укрепляют на внутренней стороне установки; расстояние между ними и поверхностью нагреваемых предметов обычно составляет 150-450 мм.

Инфракрасные излучатели с температурой на поверхности от 700 °С до 2500 °С имеют длину волны 1,5-3,5 мкм и называются «светлыми» – по длине волны они ближе к видимому свету; излучатели с более низкой температурой поверхности имеют большую длину волны и именуются «темными».

В качестве генераторов ИК-излучения для промышленных сушильных установок в нашей стране и за рубежом применяются нагреватели разных типов и конструкций. Они различаются длиной волны излучения, зависящей от температуры и методов нагрева (электрический, газовый) и конструкций элемента сопротивления (металлические, керамические, силитовые). Превращение лучистой энергии в тепловую обусловлено терморadiационными спектральными свойствами продукта, т.е. его пропускающей, отражательной и поглотительной способностью. Энергия ИК-излучения превращается в тепло только в том случае, если она поглощается облучаемым веществом. Для разных материалов степень поглощения и глубина проникновения ИК-лучей различны, поскольку материалы избирательны к длине волны падающего излучения. Длина волны, в свою очередь, зависит от температуры генератора ИК-излучения. Таким образом, спектральные оптические свойства продукта и спектральные характеристики нагревателей взаимосвязаны и имеют первостепенное значение. При обоснованном выборе типа излучателя и режима облучения обеспечивается проникновение инфракрасного излучения в глубь продукта, что интенсифицирует процессы тепло – и массообмена [200-201].

В промышленности наиболее широко используют облучательные ИК-установки для нагрева и сушки различных материалов, основной частью которых являются электрические или газовые источники ИК-излучения [202]. Сушильные установки, работающие методом нагрева излучателей газом, отличаются от сушилок с электронагревом. Если при электронагреве излучатели локализованы в нагревательной камере и имеют распределение энергии излучения в зависимости от расположения других, соседних излучателей, то при газовом нагреве сплошная поверхность камеры создает равномерное диффузионное инфракрасное излучение. Листы камеры сушильной установки нагреваются снаружи с помощью большого количества небольших газовых горелок или посредством продольного потока горячих отработанных газов из центрально расположенной горелки. Листы нагреваются до высоких температур (300-500 °С) и излучают «темные» ИК-лучи. При таких температурах излучение имеет максимальную длину волн  $\lambda_{\max} = 4$  мкм и, рассеянное, что выгодно при обработке объектов сложной формы. Сушильные установки, где нагрев осуществляется газом, могут иметь форму камеры, в

которой устанавливается материал для сушки, или форму туннеля, в котором материал движется в подвешенном состоянии. Газ в туннельной сушилке сгорает между двойными стенками туннеля, нагревая внутреннюю металлическую стенку; продукты сгорания отсасываются вверх. Для уменьшения потерь тепла наружная стенка покрывается теплоизолирующим кожухом. С нижней части туннельной камеры поступает воздух, омывающий обрабатываемый материал, и уносит с собой вверх образующиеся пары воды [203-204].

Закономерностей исследования ИК-энергоподвода проведены проф. А.С.Гинзбургом, проф. С.И.Ильясовым, акад. РАСХН В.В.Красниковым, проф. П.Д.Лебедевым, акад. А.В.Лыковым, проф. Ю.М. Плаксиным, акад. РАСХН И.А.Роговым и др. Их исследования позволили решить ряд общих вопросов теории, техники и технологии инфракрасного излучения и до настоящего времени являются фундаментом по изысканию наиболее рациональных способов и режимов инфракрасной технологии термообработки продуктов [205-208].

Профессором В.Н. Карповым (СПбГАУ) и профессором С.А. Ракутько (ДальГАУ) в большом объеме рассмотрены вопросы энергосбережения при применении оптических электротехнологий в АПК, в том числе и ИК-излучения [209]. В СПбГАУ под руководством В.Н. Карпова впервые была показана необходимость более полного использования потока ИК-излучения с фотометрических позиций. Основным преимуществом электрических терморadiационных установок с объемными облучателями, разработанных Санкт-Петербургскими учеными, является возможность равномерного облучения продуктов.

Работами Н.К. Клямкина, М.С. Погорелова, И. Сивашовой показаны перспективы применения ИК-излучения в процессе переработки продукции растительного происхождения [204, 210].

Термические процессы обычно проводятся в контролируемой среде, и потому обязательным конструктивным элементом большинства отражательных ИК-сушилок, кроме ламп-излучателей (рефлекторов), является реактор, обычно кварцевый, прозрачный для основного спектрального диапазона излучений.

Измерение температуры в отражательных ИК-сушилках осуществляется как контактным, так и бесконтактным методами. В большинстве случаев применяются термпары. Значительно реже и, в основном, для низкотемпературных процессов находят применение терморезисторы. Еще реже применяются пирометры, хотя в высокотемпературных отражательных сушилках бесконтактный метод измерения температуры непосредственно нагреваемого объекта обладает рядом преимуществ.

Как показывают экспериментальные исследования, обрабатываемые материалы зачастую можно принимать за тонкие теплопередающие тела, что несколько упрощает задачу моделирования теплового процесса. При условии равномерности распределения температуры по толщине тела уравнение теплового баланса имеет вид [211-212]:

$$a_t q_{над} = C_p m \frac{dT}{dt} + q_{изл} + q_{конв} + q_{менл} + q_{исп}, \quad (2.7)$$

где  $a_t$  - интегральный коэффициент поглощения материала;  $C_p$  - теплоемкость материала, Дж/(кг·К);  $T$  - температура продукта, К.

Из уравнения (2.7) следует, что энергия  $q_{над}$ , поглощенная телом за время  $t$ , затрачивается на нагрев (первая компонента правой части уравнения), отдачу тепла излучением  $q_{изл}$ , конвекцией  $q_{конв}$ , теплопроводностью  $q_{менл}$ , и на испарение из него влаги  $q_{исп}$ .

Вследствие малости массы растворителя величина  $q_{исп}$  пренебрежимо мала; отдачу тепла теплопроводностью  $q_{менл}$  всячески стараются уменьшить.

Уравнение теплового баланса в этом случае примет вид

$$-C_p m \frac{dT}{dt} = -a_t E s_o + \varepsilon_{np} \sigma (T^4 - T_0^4) s + \alpha_k (T - T_\varepsilon) s, \quad (2.8)$$

где  $E$  - плотность излучения поверхности (облученность), Вт/м<sup>2</sup>;  $s_o$  и  $s$  - площади облучаемой и полной поверхностей материала, м<sup>2</sup>;  $T_0$ ,  $T_\varepsilon$  - температура окружающих поверхностей и воздуха соответственно, К;  $\varepsilon_{np}$  - приведенная излучательная способность облучаемого объекта и внутренних стенок отражательной камеры;  $m$  - масса материала, кг;  $\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана, равная  $5,669 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha_k$  - коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Произведение  $\sigma T_0^4$  мало по сравнению с  $\sigma T^4$ , поскольку в ИК-сушилках лучистый поток от излучателей и рефлектора обычно падает на всю поверхность материала; кроме того, температура стенок рабочей камеры в несколько раз меньше температуры обрабатываемого сырья. Поэтому, опуская второе слагаемое в правой части (2.8), получаем

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{\varepsilon_{np} \sigma}{C_p \gamma \Delta} T^4 - \frac{\alpha_k}{C_p \gamma \Delta} (T - T_\varepsilon) + \frac{a_t}{C_p \gamma \Delta} E, \quad (2.9)$$

где  $\Delta$  - толщина слоя материала, м;  $\gamma$  - плотность сырья, кг/м<sup>3</sup>.

Сделав допущение о безынерционности ламп по сравнению с инерционностью тепловых процессов нагрева, в качестве управляющего воздействия будем использовать плотность излучения (точнее, питающее напряжение):

$$E = f(u)$$

$$\Delta E = \Delta f(u) \cong b \bar{u} = \left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_{u_{ном}} \bar{u}, \quad (2.10)$$

где  $b$  зависит от конструкции излучателя, характеристик рефлектора и т.п. [211-212].

Так, если потери, связанные с конвекцией, малы, то можно пренебречь предпоследним слагаемым в правой части (2.9), и если потери, связанные с конвекцией, намного превосходят потери, обусловленные излучением (часто встречаются в установках ИК-сушки с принудительной конвекцией), то выполняется условие  $\alpha_k (T - T_\varepsilon) \gg \varepsilon_{np} \sigma T^4$ , где потерями на излучение можно пренебречь. Однако при определении стационарной температуры приходится учитывать оба вида потерь.

Обычно площадь стенок камеры  $s_k$  значительно превосходит площадь поверхности пластины  $s$ . В этом случае выполняется условие  $\varepsilon_{np} \approx \varepsilon_t = a_t$ .

Линеаризованное относительно номинального режима уравнение динамики теплового процесса запишется в виде

$$\Delta T = a_{11} \Delta T + b_{11} \bar{u} + c_{11} \Delta T_g, \quad (2.11)$$

где  $\Delta T = T_{30} - T$  – отклонение от заданного значения температуры  $T_{30}$ ;  $\Delta T_g = T_{\text{исх.в}} - T$  – вариации температуры воздуха (возмущение);

$$c_{11} = a_{11} = -\frac{\alpha_k}{C_p \gamma \Delta}; \quad b_{11} = \frac{a_{1g}}{C_p \gamma \Delta} \quad (2.12)$$

В уравнение (2.12) можно ввести также и коэффициент усиления тиристорного блока, аппроксимировав его передаточные свойства безынерционным звеном. Значения параметров уравнения зависят от теплофизических характеристик обрабатываемого материала.

Обобщая полученные уравнения, получаем для принятых допущений модель динамики заданной части технологического процесса ИК-сушки:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + b_{11} \bar{u}; \\ \dot{x}_2 &= a_{21} x_2 + f_{21} n; \\ \dot{x}_3 &= a_{31} x_1 + a_{33} x_3, \end{aligned} \quad (2.13)$$

или в матричной форме:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \bar{A} x + \bar{B} u + \bar{F} n; \\ y &= \bar{D} + \omega, \end{aligned} \quad (2.14)$$

где матрицы имеют вид:

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ 0 & a_{21} & 0 \\ a_{31} & 0 & a_{33} \end{bmatrix}; \quad \bar{B} = \begin{bmatrix} b_{11} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \bar{F} = \begin{bmatrix} 0 \\ f_{21} \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \bar{D} = [b \ 0]; \quad (2.15)$$

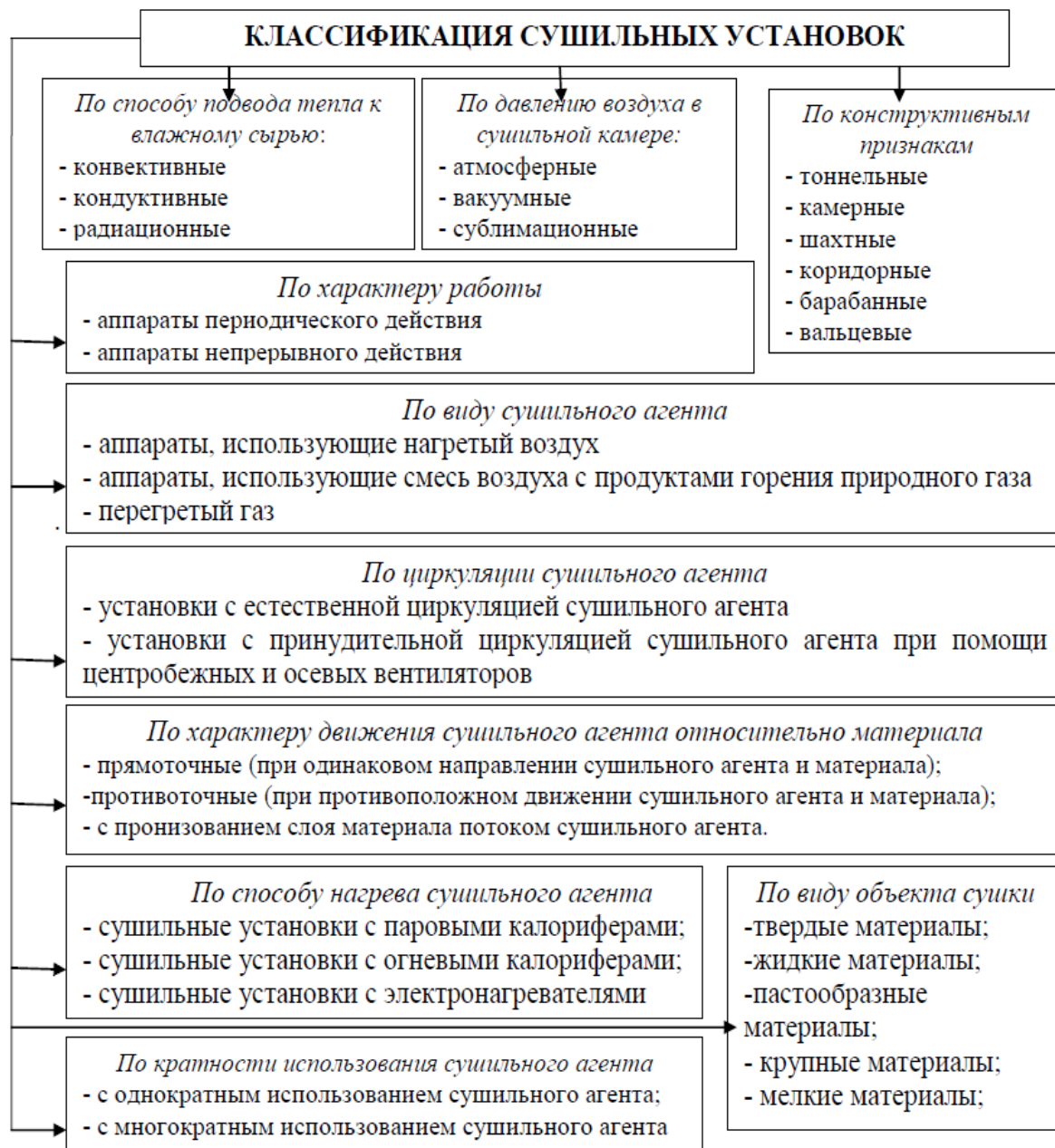
$x = [x_1 \ x_2 \ x_3]^T = [\Delta T_u \ \Delta T_B]^T$  – вектор переменных состояния [211-212].

Приведенные модели могут быть использованы при синтезе оптимальных систем управления инфракрасными сушильными установками.

*Анализ современных методов и средств сушки: преимущества и недостатки.* Во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства приходится сталкиваться с необходимостью снижения влажности различных продуктов, материалов и сырья. Применительно к сельскому хозяйству это связано с общей задачей повышения сохранности продукции растительного происхождения, для чего в последние десятилетия были разработаны многочисленные технологии сушки различных продуктов. При любых масштабах использования сушильных технологий принципиальной представляется реализация, ряда технико-экономических параметров, таких как минимально возможная энергоемкость процесса, максимальная однородность сушки, минимальное время выхода на заданную температуру нагревателя, минимальное время выхода на заданную влажность сырья и некоторых других характеристик процесса обезвоживания [213].

Способы, техника и технологии сушки растительного сырья и материалов были исследованы и описаны в работах многих ученых [214-215]. При создании

научной базы технологии сушки работы А.В. Лыкова, А.С. Гинзбурга, П.Д. Лебедева, П.А. Ребиндера, В.Н. Карпова, В.Г. Быкова и других сыграли основную роль. В их работах рассмотрены теоретические положения сушки влажных материалов с применением различных режимов и способов удаления влаги, позволяющие разрабатывать установки, работающие на эффективных методах и средствах интенсификации процесса.



**Рис. 2.21. Классификация сушки продукции растительного происхождения**

Более простой и распространенный способ обезвоживания растительного сырья – это естественная сушка, основанная на использовании тепловой энергии солнца, естественного движения воздуха, что делает затраты на разработку и строительство пунктов для сушки сравнительно не высокими [215].

Отрицательным фактором естественной сушки является то, что сырье можно высушить таким способом до влажности, близкой к равновесной и не более [216-217]. Сухопродукт имеет низкое качество и энергосодержание, сильное загрязнение, и, несмотря на кажущуюся простоту организации процесса и дешевизну технического оснащения, в масштабах производства естественная сушка оказывается дорогой.

На сегодняшний день существует большое разнообразие способов удаления влаги и типов установок искусственной сушки растительного сырья (рисунок 2.21) [215]:

Различия обусловлены термодинамическими, теплофизическими, массообменными и структурно-механическими характеристиками, а также затратами энергии на испарение 1 кг влаги, определяющими производительность большей части существующего сушильного оборудования.

Затраты энергии на цельное испарение 1кг влаги в зависимости от способа сушки и конструкции сушильных установок приведены в таблице 2.8 [218].

**Таблица 2.8**

**Экономические и технологические показатели способов сушки в зависимости от способа и конструкции установок.**

Способ сушки	Удельные энергозатраты кВтч на 1кг исп. влаги	Оценка сложности оборудования			Экологическая безопасность способа	Качественные показатели сухопродукта		
		Металлоемкость	Сложность	Сложность обслуживания		Вкусовые	Восстанавливаемость	Способность к хранению
ИК-излучением	0,9-1,2	Низкая	Малая	Не требует специалистов	Безопасен	Высокие (вкус, цвет, аромат естественного продукта)	Высокая 85-90%	Высокая (до года и более)
Конвективная	1,6-2,5	Средняя	Средняя	Не требует специалистов	Безопасен	Среднее (привкус жареного)	Средняя 60-70%	Средняя до 4-6 мес.
Конвективная	1,5-1,7	Высокая	Средняя	Не требует специалистов	Безопасен	Среднее (привкус жареного)	Средняя 60-70%	Средняя до 4-6 мес.
Сублимационная	3,5-3	Высокая	Высокая	Требует специалистов по вакуумной и холодильной технике	Опасен (хладоны)	Высокие (вкус, цвет, аромат естественного продукта)	Высокая 85-95% (кроме трюгора)	Высокая (до года и более)
Токами СВЧ	2-3	Средняя	Высокая	Требует специалистов по СВЧ технике и контролю	Опасен (СВЧ)	Высокие (вкус, цвет, аромат естественного продукта)	Высокая 85-95% (кроме трюгора)	Не изучена, есть отрицательные показатели

По энергетическому признаку выделяют два основных типа обезвоживания:

- удаление из материала влаги без изменения агрегатного состояния в виде жидкости;

- удаление влаги с изменением агрегатного состояния, т.е. при фазовом превращении жидкости (льда) в пар.

На первом принципе основаны механические способы обезвоживания (фильтрация, сепарирование и т.п.) и контактный обмен влажного материала с веществами при соприкосновении, имеющими более низкий потенциал переноса – контактно-сорбционное обезвоживание.

Тепловая сушка является вторым принципом обезвоживания материала или сырья. Определенное количество теплоты сообщается объекту сушки извне, каким – либо известным способом или комбинацией способов [215].

В вопросе энергосбережения механические способы удаления влаги и контактный влагообмен более целесообразны, чем тепловая сушка [219].

Перспективна комбинированная с инфракрасным нагревом и СВЧ-энергоподводом сублимационная сушка. А.Ф.Аминов, А.В.Нетушил, М.К.Болога, М.С.Панченко и другие изучили влияние электрических и магнитных полей на интенсификацию процесса сушки капиллярно пористых материалов.

Было выявлено, что поля коронного разряда интенсифицируют внутренний массообмен в материале и улучшают его внешний вид, а за счет ионизации сушильного агрегата влагосодержание уменьшается. Вышеупомянутые авторы установили, что энергозатраты при этом снижаются на 10% [213].

Наряду с перечисленными преимуществами этот вид сушки обладает существенными недостатками, как вероятность образования в продуктах канцерогенов и высокая стоимость оборудования. В настоящее время 1 кВт\*ч микроволновой энергии приблизительно в двадцать раз дороже энергии переменного тока [215]. Однако, необходимость высококвалифицированного обслуживающего персонала, дороговизна оборудования, и высокое потребление энергоресурсов пока не позволяют найти широкое применение этого метода для сушки зеленых культур. Ряд важных теоретических и практических отличий от классических методов нагрева и передачи тепла делает достаточно перспективным в этом плане использование ИК-сушки [220-222]:

- не требуется наличия теплоносителя, способствующего загрязнению обрабатываемого материала; отсутствуют взрывоопасные концентрации и потери материала за счет уноса.

- материал не перегревается вблизи теплопередающей стенки, тепловыделение происходит в объеме материала, и его температура выше, чем температура стенок аппарата и воздуха вокруг материала.

- интенсивность нагрева не зависит от агрегатного состояния материала, а только от его оптических и диэлектрических свойств. При ИК-сушке растительных продуктов происходит регулируемый нагрев материала. Вследствие испарения влаги и тепломассообмена с окружающей средой поверхностные слои материала обезвоживаются и теряют теплоту, поэтому температура и влажность материала внутри сырья выше, чем снаружи. Возникают градиенты влагосодержания  $\text{grad}U$  и температуры  $\text{grad}T$ , под воздействием которых влага изнутри перемещается к поверхности. При этом в отличие от конвективной сушки направление обоих градиентов совпадают, что интенсифицирует процесс сушки. Безинерционность, объемность нагрева и возможность концентрации энергии в единице объема позволяют сократить процесс в 1,5-2,0 раза по сравнению с конвективной сушкой при максимальном сохранении вкусовых качеств высушенной продукции [215, 217].

Для сушки тонких слоев сырья или тонколистового сырья эффективно использование ИК-нагрева. Использование инфракрасных лучей интенсифицирует проникновение теплового излучения на определенную глубину обезвоживаемого материала. В научных работах А.С. Гинзбурга указано, что максимальная глубина проникновения лучей при инфракрасной сушке растительных материалов составляет 6-7 мм [213]. Увеличение проницаемости наблюдается с уменьшением толщины слоя и понижением влажности сырья.

Однако применение этого способа при сушке термолабильных материалов сопряжено с рядом трудностей, например как в технической реализации [223]:

- размещение генераторов ИК-излучения относительно продукта для исключения возникновения теневых зон и зон «паразитной засветки»;

- регулировка насыпного слоя;

- разработка конструктивных параметров с соблюдением принципа объемного облучения;

- выбор излучателя с чернотой тела и длиной волны излучения, подходящего под конкретный вид сырья;

а также и в технологической:

- обеспечение переменного режима ИК-излучения для управления градиентом температуры;

- регулирование энергетической облученности обрабатываемого материала для сокращения времени сушки, сохранения качества сырья и экономии энергии;

- регулирование поля излучения в установке для более полного использования энергии облучаемым сырьем;

- регулирование и поддержание сразу нескольких важнейших параметров сушки: температуры нагрева сырья, длины волны излучения, влажности сырья, в автоматическом режиме ведения процесса, с целью получения качественного сухопродукта.



**Рис. 2.22. Влияние конструктивно-технологических параметров процесса сушки на основные свойства сухопродукта**

Целевая функция в идеале должна максимально точно определять взаимосвязь между основными параметрами технологии инфракрасной сушки. От конструктивных параметров камеры сушильной установки, технологических параметров инфракрасного воздействия на растительное сырье и свойств сырья, генератора ИК-излучения и окружающей среды зависят основные свойства и качество готового сухопродукта (рисунок 2.22).

### **ГЛАВА 3. СТРУКТУРА КОКОНОВ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА И ВЛАГИ**

#### **3.1. Шелководство – отрасль сельского хозяйства**

На сегодняшний день кокон и шелковые продукции занимают важное место на мировом рынке. «Ежегодно заготавливаются в среднем 640 тыс. тонн коконов и среди стран, выращивающих коконы, в 2015 году вырабатывалось 130 тыс. тонн шелка-сырца» [224]. С учетом высокого требования к качеству шелковой продукции на мировом рынке особое значение приобретает обеспечение конкурентоспособности производимой продукции. В мировой практике особое внимание уделяется технологическим процессам первичной обработки коконов, созданию техники и технологии производства качественного шелка-сырца из новых гибридов, влияющих на качественные показатели коконного сырья. В годы независимости в стране особое внимание обращается на эффективное развитие шелководства, а также на производство шелка-сырца и шелковых изделий с высокими качественными показателями и конкурентоспособностью [105].

Особое своеобразие ландшафта Китабо-Шахрисабзской котловины придают деревья шелковицы – тута. Его ветви регулярно срезают на корм шелковичным червям, поэтому деревья имеют оригинальную форму: в верхней части ствола образуется большое утолщение, от которого веером расходятся тонкие прутья молодых побегов. Сочетание хлопковых полей с тутовыми насаждениями не случайно: Китабо-Шахрисабзская котловина производит 60% коконов всего бассейна.

Шелководство – отрасль сельского хозяйства, которая занимается разведением шелкопрядов для получения шелковичных коконов – сырья для изготовления натурального шёлка.

История шёлка насчитывает почти 5 тысяч лет. В древние времена в Гималаях человек обратил внимание на бабочку с белыми крыльями, достигающими в размере 6 см. Из яиц, которые она откладывает, выходят гусеницы, питающиеся листвой деревьев. По прошествии 30-40 дней, сменив четыре раза свой наряд, они начинают из специальных желез выделять тонкую нить, оплетая себя тонким коконом. Люди научились разматывать коконы, получать блестящую, крепкую нить длиной до 1000 метров и изготавливать из неё ткань. Любимый корм гусениц – листья тутового дерева (шелковицы), поэтому бабочку называют «тутовым шелкопрядом».

Впервые тутового шелкопряда одомашнили в Китае. Была выведена порода бабочек, не умеющих летать. Китайский эпос относит историю возникновения шелководства к периоду правления наиболее древних династий, существовавших за 3 тысячи лет до н.э. Возможно также, что использование шёлка дикого шелкопряда возникло независимо от китайского опыта в столь же отдалённые времена в юго-восточной Индии.

Приоритет открытия способа размотки коконов принадлежит Китаю, где выработка пряжи этим путём была известна за 2700 лет до н.э. Правящая верхушка Китайской империи много веков тому назад монополизировала шелководство с целью получения от него наибольших выгод. Первые сведения о торговле Китая шёлком с другими странами относятся примерно к V в. до н.э. Во всяком случае, греческому историку и путешественнику Геродоту, посетившему Северное Черноморе и страны Ближнего Востока (в том числе и Вавилон), были известны ткани китайского происхождения. Торговля Китая со странами Ближнего Востока шла морским путём, кроме того, через Кашгарию и Среднюю Азию на запад к северным берегам Чёрного моря пролегал Великий шёлковый путь.

Вначале II в. н.э. китайский опыт разведения шелкопряда был перенесён в Корею, затем шелководство проникло в Японию. В IV в. н.э. шелководство распространяется в Иране и Средней Азии, а в VIII в. в этих странах становится известным искусство размотки коконов. В VI в. н.э. шелководство было перенесено в Европу, в Византию. В VIII в. шелководство проникло из Сирии в Испанию. В VIII в. оно получило распространение на Аппенинском полуострове, а затем в XIV в. стало развиваться во Франции.

Исследуя же историю шелководства в Средней Азии, многие пытались и пытаются установить время и место появления в Средней Азии шелкопряда. Некоторые исследователи считают, что шелководство проникло в Среднюю Азию в IV в. н.э. из Центрального Китая. Другие предполагают, что из Индии, что и Фергана могла быть родиной шелководства.

В 60-е годы XIX в. шелководство достигло в Средней Азии наивысшего расцвета. Большие перспективы развития местного шелководства были оценены русским правительством. Однако в годы царизма эта отрасль развивалась медленно и целиком находилась в зависимости от иностранной гренажной и шёлка перерабатывающей промышленности. Производство грены, которое в известной мере определяет рост производства коконов, находилась в руках частных компаний. Большое её количество импортировалось иностранными торговцами. В результате конкуренции ввозимой грены с местной многие гренажные заводы закрывались. Качество этой грены было низким, способствовало распространению болезней шелкопряда и снижало урожайность коконов. Крайне слабой была и кормовая база шелководства. За время империалистической и гражданской войн шелковицу почти не сажали, а старые деревья вырубали на топливо.

К 1930 году в Узбекистане с заготовок коконов был полностью вытеснен частный сектор, и развитие шелководства стало монополией государства. Первое учреждение по шелководству – Среднеазиатский НИИ шелководства – было создано на базе Ташкентской шелководческой станции в 1927 г.

В Узбекистане разводят одомашненного тутового шелкопряда, в других странах используют также коконы некоторых диких шелкопрядов (дубового, айлантового, клещевинного и др.). Дикие шелкопряды названы так потому, что

они выкармливаются на воле, непосредственно на листьях растущих деревьев или в специально созданных условиях, близких к природе.

### **3.2. Композиционная структура и система тутовых шелкопрядов**

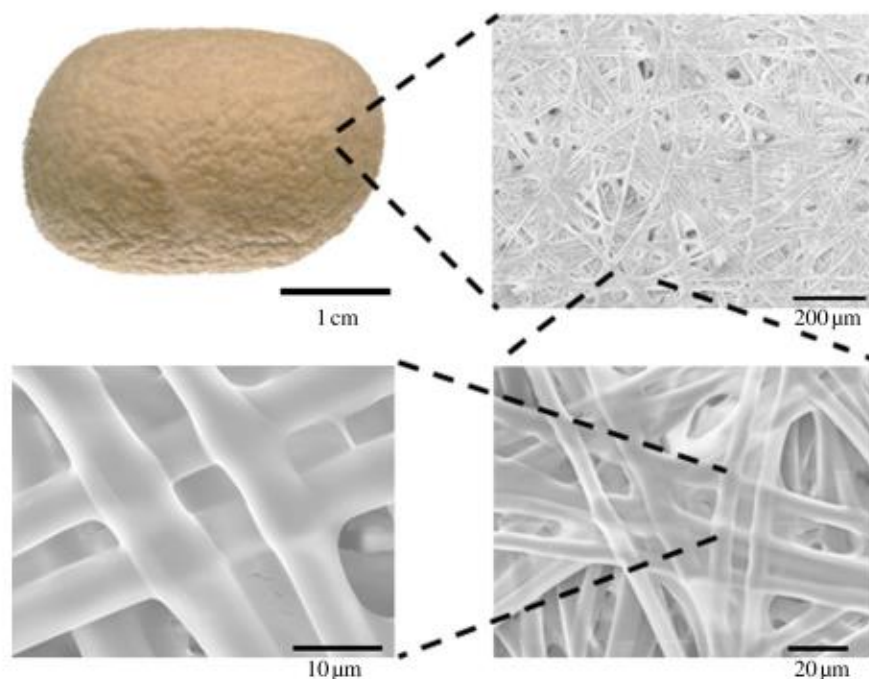
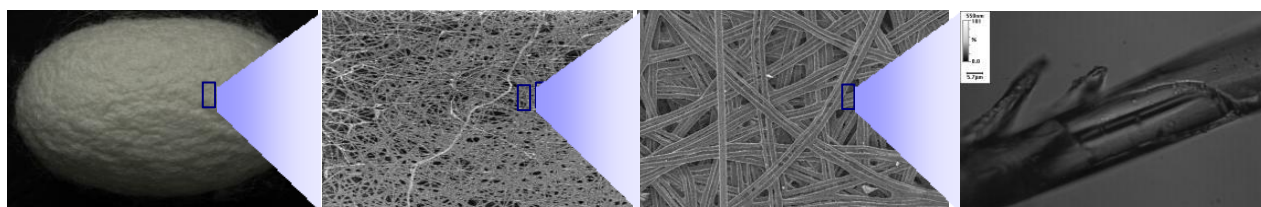
Структуры – свойства – функции в коконах шелкопряда эволюционировали в течение миллионов лет путем естественного отбора, чтобы поддерживать и защищать бабочек в самых разных средах, чтобы не подвергать их воздействию множества различных угроз и хищников. Поскольку коконы очень схожи по структуре с широким спектром нетканых композиционных материалов, можно предполагать, что понимание структуры и свойств природных коконов станет полезным руководством для изучения этих материалов и разработки инструментов проектирования для их оптимизации.

Из проведенного анализа можно сделать предположение, что физически реалистичную модель для рассмотрения свойств коконов можно представить на основе небольшого числа параметров, которые измерены или рассчитаны независимо, но воплощают все особенности, которые наблюдаются во время деформации кокона. Поскольку те же особенности характерны для многих различных типов нетканых материалов (от бумаги до нановолоконных матов), мы считаем, что модель будет иметь общий интерес для сообщества композитов, возможно, более широкое применение, чем просто для нетканых композитов [7].

Кокон, производимые гусеницами шелкопряда, являются своего рода натуральным полимерным композиционным материалом в нетканой структуре. Они имеют аналогичную микроструктуру для других стохастических волокнистых материалов, таких как бумага, нетканый текстиль и электропневматические полимерные маты [7].

Кокон представляет собой натуральную полимерную композиционную оболочку из одной непрерывной шелковой нити длиной 1000-1500 м и сгущенную серицином. Каждое волокно состоит из двух фиброинов, сгущенных слоев серицина. Шелковый фиброин является естественным волокнистым белком с полукристаллической структурой. На его долю приходится около 75% веса в волокне. Серицин представляет собой аморфный белковый полимер, который составляет 25% массы. И действует как адгезив для поддержания структуры двух фиброинов в волокне и всего кокона [7, 225-226].

На рисунке 3.1 показан иерархический набор изображений структуры кокона, от полного кокона к индивидуальной комбинации волокон-серицина.

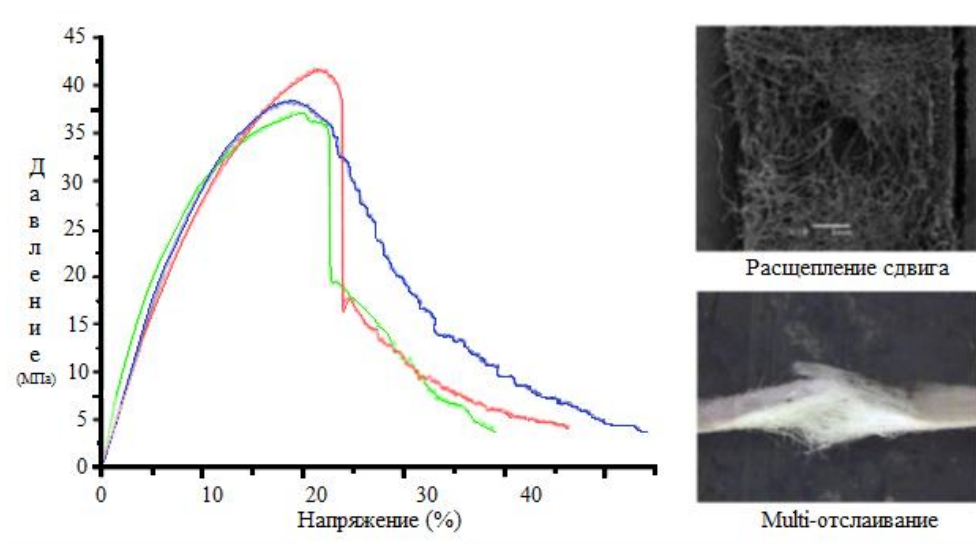


**Рис. 3.1. Иерархия морфологии коконов *Bombyx mori***

Исследование по механическому поведению шелковых волокон, также было изучено Х.П.Жао [7] – механические свойства коконов тутового шелкопряда. Они измерили растяжение свойства кокона и слоев, особенно самого внутреннего слоя [225-227].

Ряд типичных графиков напряжений и деформаций для образцов структуры коконов показан на рисунке 3.2 для уточнения, наряду с некоторыми изображениями образцов во время непредусмотренных случаев. Основные наблюдения заключаются в том, что модуль уменьшается по мере повреждения образца, при увеличении напряжения. Основным повреждением, по-видимому, является постепенный разрыв связей между волокнами до деформации около 20%, после чего напряжение достигает максимального значения и начинает падать с увеличением напряжения. Вскоре под максимальным напряжением оно быстро падает с небольшим увеличением. Наконец, можно увидеть более постепенную потерю напряжения, когда волокна постепенно распутывают и раздвигают в процессе многослойности, где отдельные слои в общей толщине разделяются [7].

Хотя в литературе для коконов не найдены конкретные математические модели, существует ряд силовых моделей для бумаги, которая также является случайной волоконной сетью, хотя и с другой структурой связанных волокон.



**Рис. 3.2. Типичные измерения напряжений на образцах коконной стенки, с изображениями коконов (с учётом отсутствия возможности проиллюстрировать механизмы ущерба)**

*Модели прочности для нетканых материалов.* Модели прочности разрыва бумаги, такая же, как и широко применяемая полуэмпирическая теория [228] и механистическая теория О.Каллмес [229-230], которые отделяют связующие вклады от прочности на растяжение во влиянии площади межпространственных связей, которые связаны с другими волокнами, а также с прочностью на сдвиг на единицу площади, действующей в этих областях. С.Додсон [231] предположил, что для короткой длины волокна и низкого РБА механизм отказа был полностью разрушением связи до порога с половиной теоретической максимальной силы сети; выше этого порога считалось, что и разрыв волокон, и связь связаны с разрывом. Эта модель не соответствует всем экспериментальным наблюдениям.

В сети под напряжением связанные области волоконных поверхностей облегчают перенос напряжения между сегментами волокна. Это классическая теория сдвиговых нагрузок [232]. Сообщалось о благоприятных сравнениях между теорией и экспериментами Кокса [233-240], но В.И.Раисанен [241-242] озвучил недостатки модели сдвигового запаздывания, когда передача осевого напряжения в случайных волоконных сетях не могла быть объяснена подходом к сдвигу. С.Ж.Эйххорн [243] наблюдал значительные напряжения на концах волокон внутри сети, вопреки предсказанию Кокса, что напряжение было бы нулевым на концах волокна. С.Ж.Ансон [240] предполагает, что когда сеть, в которой количество волокон на единицу площади находится чуть выше порога перколяции, выходит из строя при растягивающем напряжении. Доминирующим механизмом отказа будет то, что связывание, а не волокна (количество контактов на волокно), как правило, недостаточно для переноса достаточного напряжения на волокно для отказа [7].

Исследователи стремились связать силу бумаги с ее недостаточностью, масштабируя результаты теста из небольших образцов, используя классическую теорию В.Вейбулл [244-246]. В ней указывается, что на прочность образцов без надреза влияет геометрия образца [247] и предсказывается экспоненциальное уменьшение удельной прочности образца с увеличением объема. Эта зависимость возникает из-за того, что вероятность «слабой линии» в исследуемом материале возрастает с увеличением объема. Ключевым моментом в использовании подхода В.Вейбулл для бумаги является то, что вероятность отказа определяется количественно, как статистическое распределение событий отказа (разрыв связей) вокруг значения напряжения, которое характерно для данного материала.

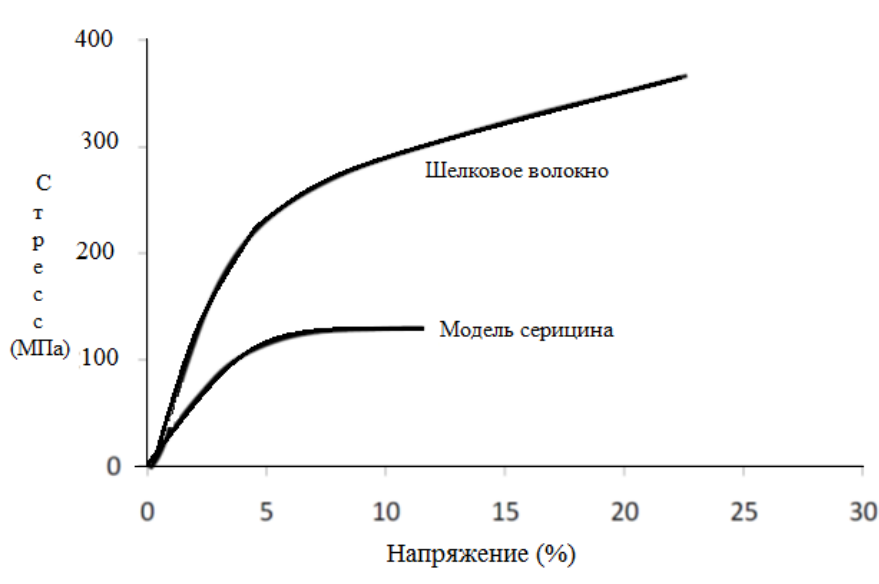
*Модель статистического повреждения.* Наблюдения за механизмами деформации и разрушения в коконах тутового шелкопряда указывают на то, что постепенное нарушение связей между волокнами приводит к уменьшению жесткости коконов. В критической точке недостаточно связей для поддержания нагрузки в композитном материале и волокна распутывают и раздвигают. Теперь нужно разработать количественную модель, которая является физически реалистичной и воплощает этот процесс разрыва связи для прогнозирования полного профиля стресс-деформации до отказа, с точки зрения свойств материалов-компонентов и морфологической структуры природного нетканого композиционного материала [7].

В работах Фуэи Чен, Давид Портер, Фритз Воллраз [7] были описаны типичные свойства коконо-компонентных материалов из волокон и серициновой матрицы для расчета неповрежденного модуля кокона, с использованием модели с открытой ячейкой для масштабирования по плотности. Затем рассчитывалась прочность типичного участка склеивания по мере пересечения двух волокон. Эта прочность связи зависела от размера связи, и мы можем масштабировать прочность связи к коконом деформационным событием с помощью модуля кокона по сравнению с твердым материалом. Сила связующего участка может быть использована в качестве эталонного параметра в модели активации для описания статистического распределения вероятности срыва связи через деформации в критическую перколяционную пороговую точку, где недостаточна связанность склеивания для поддержания нагрузки [7].

*Свойства материала компонента.* Шелковые волокна представляют собой натуральный фиброиновый белок, покрытый слоем около 25% серицина, который связывает волокна вместе в точках пересечения. Модуль упругости невыстигнутого естественного волокна составляет около 9 КПа, а типичный профиль напряжения-деформации для разрушения, около 350-400 МПа.

Серицин считается аморфным белком с большой долей серициновых сегментов, имеющих боковую цепь -ОН, которая способствует адгезии. К сожалению, серицин очень хрупкий, поэтому экспериментальное измерение его механических свойств довольно сложное [7].

На рисунке 3.3 также показано теоретическое предсказание профиля стресс-деформации серицина [248]. Как видно из рисунка, он очень похож на экспериментальные данные для аморфного регенерированного шелка волокна. Ключевыми прогнозируемыми параметрами являются низкий модуль деформации 4 ГПа и растяжение предела текучести – около 130 МПа. Соотношения структуры и свойства полимера [249] могут быть использованы для оценки того, что хрупкое разрушающее напряжение серицина составляет около 130 МПа, что является таким же, как предел текучести. Таким образом, серицин является типичной матричной связкой [7].



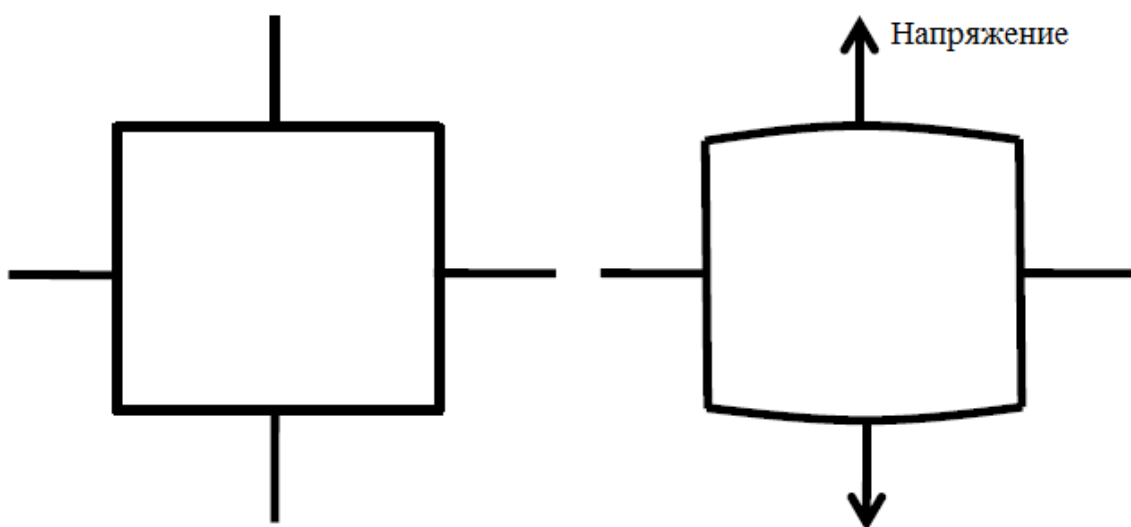
**Рис. 3.3. Типичный наблюдаемый профиль напряжения-деформации для волокна *Bombyx mori* и прогнозируемого профиля для серицина**

Если взять прочность серицина до 130 МПа с модулем 4000 МПа, можно назначить линейную деформацию упругого разрушения для справочных целей  $\varepsilon_f \approx 0,033$ . Это необходимо для масштабирования плотности упругой энергии от серицина кокона до оценки характерного активационного штамма  $\varepsilon_a$  в коконе, который может быть связан с деформацией. Поскольку большая часть эластично активного материала в коконе представляет собой фиброин с модулем  $Y_f \approx 9000$  МПа, а кокон имеет модуль  $Y_c \approx 300$  МПа, то можно масштабную упругую деформацию плотности энергии предложить следующим образом [7],  $\varepsilon_a$

$$\varepsilon_a \approx \varepsilon_f \sqrt{\frac{Y_f}{Y_c}} = 0,033 \sqrt{\frac{9000}{300}} = 0,18 \quad (3.1)$$

Этот активационный штамм станет точкой отсчета, по отношению к которой можно рассчитать статистический процесс разрыва связи в коконе. Этот штамм предполагает максимальное напряжение в коконе, если оно имеет порядок около 50 МПа, поскольку модуль составляет около 300 МПа, как показано ниже.

*Модуль кокона: модель с пеной с открытыми ячейками.* Чтобы начать профиль напряжения, необходимо вычислить внутренний модуль кокона до того, как произойдут какие-либо повреждения. Модели доступны для морфологически подобных материалов. Открытые клеточные пены обеспечивают свободный проход газов между клетками, поскольку клетки состоят из нитей материала без пленки между ними для приклеивания клеток. Это важно для коконов, поскольку оно реализует метаболические процессы, такие как дыхание и обмен воды. Модели были разработаны для обеспечения структурных свойств для ячеистых твердых тел. Поскольку большинство пенопластов не содержит прямолинейных распорок, вступает в действие изгиб луча, а не растяжение, что приводит к относительно низкому модулю материала. На рисунке 3.4 показана упрощенная структура 2D-модели для пены с открытой ячейкой [7].



**Рис. 3.4. Упрощенная структура модели с открытой ячейкой, показывающая изгиб стойки под напряжением при низком модуле**

Теоретический интерес был сосредоточен на простых трехмерных клеточных структурах с прямыми распорками (или стенками), расположенными в периодических массивах при низких плотностях. Если стойки конечны, изгиб активируется в их точках пересечения, а модуль Юнга может, как показано, приблизительно пропорциональна квадрату плотности [250-253] ( $n=2$ ), в согласии с экспериментальным наблюдением. Х.Х.Жу [254] и В.Э.Варрен [253] аналитические результаты для тетракайдекаэдрической модели с открытыми ячейками, упакованной с центром в кубический массив, который является очень общей геометрической формой, которая должна быть хорошим представлением случайного волокнистого композита. Фужиа Чен, Давид Портер, Фритз Воллраз [7] применили отношение Х.Х.Жу [254] к экспериментируем коконам и если  $\rho/\rho_s \approx 345/1300 = 0,255$ , то  $Y/Y_s \approx 0,037$ . Для модуля волокна 9 ГПа, и модуль пены становится 333 МПа, которая была наблюдаена.

$$\frac{Y}{Y_f} \approx \frac{2}{3} C_z \left( \frac{\rho}{\rho_f} \right)^2 \left( 1 + C_z \frac{\rho}{\rho_f} \right)^{-1} \quad \text{где } C_z = 1,06 \approx 1 \quad (3.2)$$

*Модель статистического ущербa.* В первом приближении модуль,  $Y$  уменьшается по мере увеличения повреждений в материале с увеличением напряжения растяжения или деформации, так как все больше пустот генерируются или связующие точки будут уничтожаться. Пусть поврежденная фракция равна  $f_d$ , так что модуль кокона считается пропорциональным неповрежденной фракции. Если  $Y_0$  - неповрежденный модуль, то при уменьшении  $Y_0$  с растягивающей деформацией  $\varepsilon$ , относительно деформации, связанной с энергией активации для повреждения  $\varepsilon_a$ , предлагается иметь форму функции активации Аррениуса, где энергия активации и применения энергии считаются пропорциональными квадрату деформации [7].

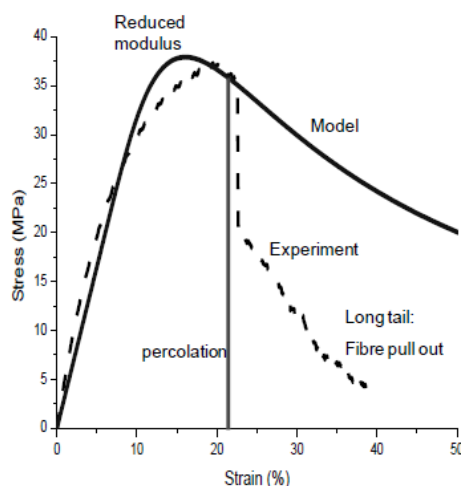
$$Y = Y_0(1 - f_d) = Y_0 \left( 1 - \exp \left( - \left( \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon} \right)^2 \right) \right) \varepsilon \quad (3.3)$$

Если мы просто возьмем кажущееся напряжение,  $\sigma$ , то будем иметь деформацию по модулю  $x$  в любой точке, а параметры  $Y_0$  и  $\varepsilon_a$  получены либо из экспериментальных результатов, либо из модельных расчетов, тогда мы получаем соотношение для профиля напряжений

$$\sigma = Y \varepsilon = Y_0 \left( 1 - \exp \left( - \left( \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon} \right)^2 \right) \right) \varepsilon \quad (3.4)$$

На рисунке 3.5 показаны решения модели профиля напряжений и деформаций кокона по сравнению с типичным экспериментальным измерением, взятым из рисунка 3.2, и с использованием модуля с значением 333 МПа и активационным напряжением со значением 0,18. Видим, что прогнозы находятся в положительном виде за исключением того, что напряжение быстро падает при критическом напряжении выше точки максимального напряжения. Теория перколяции предполагает, что такой эффект должен произойти, если нет связей через материал для поддержания нагрузки. Наблюдаемая перколяционная деформация составляет примерно 0,22 относительно активационного напряжения 0,18. Уравнение (3.3) показывает, что эта точка соответствует ущербу фракции 0,5, которая имеет правильный размер, ожидаемый от теории перколяции для связанной решетки [255]. В конце, на высокой точке деформации профиля напряжения просто связаны с распуханием волокон и нарушением окончательной локальной связи [7].

Модель, разработанная в этой работе, представляет собой простую попытку выразить качественные наблюдения за деформацией за счет естественного кокона как физического реалистичная математическая модель. Общие положительные результаты между выполненной моделью и экспериментальными наблюдениями по профилю напряжения и деформации схожи. Модель также воплощает все функции, необходимые для нетканых композитов, которые были изложены в кратком обзоре литературы, и имеют значительное преимущество [7].



**Рис. 3.5. Сравнение наблюдаемого и прогнозируемого профиля напряжения-деформации с использованием модуля 333 МПа и активационного напряжения 0,18, порог перколяции достигается с помощью урона от 0,5 до 0,22**

### **3.3. Свойства и структура коконов тутового шелкопряда**

Шелк был очень ценным материалом с тех пор, как он был открыт тысячи лет назад. Свойства шелковых волокон и протеинов шелка широко изучены [256].

Шелк - это натуральный белок с исключительными характеристиками, который не имеет аналогов у других волокон [257-258]. Белковое волокно шелка в основном состоит из фиброина, который нерастворим в большинстве растворителей, включая воду, разбавленную кислоту и щелочь. После синтеза на эпителиальной стенке заднего сегмента фиброины шелка выделяются в просвет в виде водного раствора и экструдированы в протоки средних шёлковых желез, где концентрация фиброина шелка увеличивается и начинается агрегация мицеллоподобных частиц, которые вызывают образование глобул. Наконец, кристаллизация шелка происходит в условиях напряжения сдвига и дегидратации [12, 259-260].

В зависимости от вида шелка, волокна шелка тутового червя могут иметь предел прочности на разрыв около 500 МПа и модуль Юнга около 10 ГПа, с разрывной деформацией 20-40% [261], что делает шелк одним из самых прочных волокон [262]. Было показано, что путем манипулирования скоростью вращения волокна механические свойства шелковых волокон шелкопряда могут быть улучшены в соответствии со сверхвысокими характеристиками шелковых волокон паука [12]. Кроме того, шелковое волокно обладает отличными тепловыми характеристиками. Шелковые волокна шелкопряда имеют небольшую теплопроводность, и при нормальных условиях (при температуре 273,15 К и абсолютном давлении 100 кПа) регенерирует низкое содержание влаги около 12-14% [263-264]. Таким образом, шелк стал ценным биомиметическим ориентиром для производства высокопроизводительных

материалов на основе шелка в будущем [12, 258, 262]. В последние годы белок шелкового волокна (фиброин) также активно изучался для биомедицинских применений [265].

В физике теплопроводность - это свойство материала проводить тепло. Это важный параметр в процессе теплопередачи. Теплопроводность волокон имеет разность направлений из-за анизотропии волокон. Таблица 3.1 показывает теплопроводность различных волокон в осевом и радиальном направлениях [266].  $\lambda_a$  - теплопроводность волокна в осевом направлении;  $\lambda_r$  - теплопроводность волокна в радиальном направлении.

**Таблица 3.1**

**Теплопроводность волокон**

№	Материалы	$\lambda_a$ [W/(м/К)]	$\lambda_r$ [W/(м/К)]	№	Материалы	$\lambda_a$ [W/(м/К)]	$\lambda_r$ [W/(м/К)]
1	Шерсть	0.4789	0.161	7	Рама	1.6624	0.2062
2	Мохер	0.3548	0.1685	8	Вискоза ацетальное волокно	0.718	0.1934
3	Волосы кролика	0.3308	0.1321	9	Лавсан	0.9745	0.1921
4	Шелковица шелк	0.8302	0.1557	10	Акрил	0.7427	0.2175
5	Тусс шелк	0.9783	0.1587	11	Нейлон (Chinlon)	0.5934	0.2701
6	Хлопок	1.1259	0.1598	12	Twaron	4.3396	0.2117

Стенка кокона тутового шелкопряда представляет собой нетканую композитную структуру, которую можно рассматривать как пористую матрицу серицина, усиленную случайно ориентированным непрерывным фиброином [267-268]. Многие поры расположены между шелковыми нитями, и эти поры могут быть как взаимосвязанными, так и отключенными [269]. Шелк образуется в виде водного раствора в задней части железы гусеницы шелка [270]. Раствор экструдируется через две фильеры, и двойные нити (изогнутые) покрываются и скрепляются шелковой резинкой (серицином) во время коагуляции. Компактный кокон образуется, когда тутовой шелкопряд вместе с вращением оборачивает пещеру вокруг своего тела посредством вращательного движения его головы и циклического изгиба и растяжения его тела запрограммированным образом [271]. Как показано на рисунке 3.6 [272], кокон в целом является слоистым композитным биоматериалом. Поскольку шелковое прядение продолжается, шелковые нити становятся более тонкими и прочными, а кристалличность и молекулярная ориентация полимерного шелка увеличиваются [273]. Известно также, что шелковая нить укладывается ближе к концу прядения, что делает внутреннюю оболочку (известную как пелада)

самой твердой и гладкой с более сильными механическими свойствами [227]. Ширина волокон обычно больше для наружных слоев кокона, чем для внутренних и волокна во внутренних слоях расположены более компактно, чем волокна во внешних слоях.



**Рис. 3.6. Разрезанный кокон из перны, чтобы показать слои раковины [272]**

Кристаллы оксалата кальция можно найти на наружной поверхности большинства коконов [274]. Кристаллы могут усиливать структуру диких коконов и влиять на скорость диффузии газа в стенке кокона [275-276]. Для некоторых типов газа, таких как  $\text{CO}_2$ , кристаллы имеют уникальную функцию, позволяющую осуществлять льготный контроль  $\text{CO}_2$  изнутри наружу [277]. В термодинамике кристаллы также могут влиять на тепловые свойства коконов [274].

### **3.4. Исследование состояния коконов тутового шелкопряда**

Доказано, что кокон повышает вероятность выживания в холодных условиях, выдерживая внешние проблемы с низкой температурой во время бездействия [278]. Стена кокона с иерархической многослойной структурой играет важную роль в выполнении этих защитных функций. Были исследованы механические свойства шелковых волокон коконов шелкопряда, и было обнаружено, что шелковые волокна из различных компонентов коконов имеют разные механические свойства [279]. Показано, что многослойная и градуированная структура кокона улучшает ударную вязкость, улучшает поглощение энергии благодаря согласованию волнового импеданса различных слоев [280] и увеличивает амортизацию [31].

Ряд исследований по свойствам переноса газов и влаги коконов тутового шелкопряда был проведен рядом исследователей. А.Манас и др. изучал газодиффузионные свойства кокона *A. mylitta* [277]. Кристаллы оксалата кальция на внешней поверхности кокона способны улавливать большую часть  $\text{CO}_2$  в виде гидрокарбоната, связанного водородом, на поверхности и приводить к однонаправленному потоку  $\text{CO}_2$  от внутренней к наружной стороне кокона. Для других типов газа, таких как  $\text{O}_2$ , поток через стенку кокона является двунаправленным. А.Хоррокс и др. исследовали влажность и свойства переноса воды коконов *B. mori*, *A. pernyi* и *Philosamia cynthia ricini* (*P.c. ricini*) [281]. Различные слои, созданные в процессе прядения, имеют разные передаточные функции. Внутренний слой кокона может поддерживать постоянную влажность

внутри камеры, обеспечивая возможность обмена газами и парами. Внешний слой может предотвратить попадание воды в кокон, чтобы обеспечить подходящее сухое состояние для куколки. Б.Блосман-Майер и В.В. Бругрен изучили диффузионные свойства кислорода и водяного пара в коконе *B. mori* и предположили, что стенка кокона не препятствует диффузии ни кислорода, ни водяного пара [282].

Шелковые коконы подвергаются воздействию тепла или излучения до разматывания шелковой нити для обработки текстиля. Важно не оказывать негативного влияния на свойства шелкового волокна во время такой обработки. С этой точки зрения, Авазов сообщил о математической модели для расчета температуры в различных положениях в направлениях толщины внутренней оболочки шелкового кокона *B. mori*, подвергнутого воздействию инфракрасного излучения [283]. Модель учитывала поглощение тепла коконом и куколками, теплопроводность стенки кокона и градиент температуры между стенками кокона и внутренней и внешней средой.

В.Жанг и др. расширил это исследование до широкого круга диких видов, чтобы изучить и сравнить механические и термические свойства как коконов домашнего, так и дикого шелкопряда [274]. Они изучили микроструктуру и исследовали теплоизоляционные свойства различных типов коконов тутового шелкопряда и обнаружили, что размеры и плотность домашних коконов *B. mori* и *S. cynthia* меньше, чем у диких *A. Pernyi* и *A. mylitta*. На внешней поверхности коконов *S. cynthia*, *A. pernyi* и *A. mylitta* кубические минеральные кристаллы были обнаружены на поверхностях шелкового волокна или сложены в порах между слоями. Было показано, что эти кристаллы способны укреплять структуру коконов тутового шелкопряда и влиять на скорость диффузии газа в стенке кокона.

Кокон переносили из окружающей среды в печь с более высокой температурой. В.Жанг и др. обнаружили, что с повышением температуры вне коконов температура внутри коконов также увеличивается. Однако изменение температуры внутри коконов было медленнее, чем снаружи, что указывает на некоторый уровень теплового демпфирования в коконах тутового шелкопряда от внезапных изменений при наружной температуре. В частности, кокон *A. pernyi* дикого китайского тасара шелкопряда показал более высокий уровень теплового буфера по сравнению с одомашненным коконом *B. mori*.

Чтобы лучше понять тепловые свойства стенок кокона тутового шелкопряда, теплопроводность, термическое сопротивление, температуропроводность и теплоемкость стенок кокона тутового шелкопряда при температуре 7 °C, 20 °C, 27 °C, 47 °C, 67 °C и 87 °C были проверены и сравнены. Теплопроводность этих четырех типов стенок кокона была схожей, и значения составляли от 0,0106 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> до 0,0653 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>. Однако теплопроводность кристаллов намного выше, чем теплопроводность стенок кокона. Тепловое сопротивление стенки кокона *B. mori* является самым высоким, поскольку оно имеет самую низкую плотность и самую высокую пористость. Эти испытания проводились в лабораторных условиях с

неподвижным воздухом; Однако результаты могут отличаться в ветреных условиях. Кристаллы могут играть важную роль в поддержании теплоизоляции в ветреных условиях. Температуропроводность стенок дикого кокона намного ниже, чем у внутренних стенок кокона из-за более высокой плотности стенок дикого кокона. Теплопоглощающая способность стенок кокона с кристаллами выше, что приводит к тому, что коконы кажутся более прохладными на ощупь.

Кокон тутового шелкопряда также обладает антибактериальными и противогрибковыми свойствами, чтобы восполнить недостаток антиген-антителопосредованной иммунной системы тутового шелкопряда [284-285]. Обнаружено, что серицин, нанесенный на фиброин шелка в коконах, обладает высокой способностью поглощать УФ-излучение [272].

Приведенные выше результаты показывают, что дикие коконы обладают более высокой термостойкостью для защиты от изменений температуры и ветра вне кокона; кубические минеральные кристаллы играют жизненно важную роль в термическом поведении коконов диких шелкопрядов, по-видимому, из-за более строгих требований к защите в дикой природе. Несмотря на некоторые механические и газопереносные работы, проводимые с коконами тутового шелкопряда, функция кокона как межфазного барьера теплообмена остается неясной.

### **3.5. Тепловой баланс**

Тепловой баланс определяется в стандарте ANSI/ASHRAE 55-2013 как «состояние ума, которое выражает удовлетворенность температурой окружающей среды и оценивается субъективной оценкой» [286]. Поддержание этого стандарта теплового баланса для людей является важной задачей инженеров.

Удовлетворение тепловой средой важно, потому что это влияет на нашу производительность и здоровье [287]. Было показано, что люди в офисах с высокими условиями теплового баланса более продуктивны, в то время как у них легко наблюдаются симптомы строительного синдрома (ССС) в условиях теплового дискомфорта [288-289]. Два человека могут чувствовать себя комфортно, даже если они находятся в совершенно разных условиях. Таким образом, тепловой баланс зависит от многих параметров, таких как температура воздуха, относительная влажность и возраст человека.

У людей очень эффективная система регулирования, которая обеспечивает поддержание температуры тела примерно на уровне 36,8 °С. Температура тела не должна изменяться более чем на 0,5 °С для теплового баланса и от -1 °С до 3 °С для здоровья и выживания [290-291]. Когда тело становится слишком горячим, расширение сосудов усиливает кровоток через кожу, и возникает потение. Только повышение температуры тела на несколько десятых градуса может стимулировать потоотделение. Когда тело слишком холодное, сужение сосудов уменьшает кровоток через кожу, и внутреннее тепло вырабатывается в виде дрожи. Эта система очень эффективна для

контроля температуры тела. Температура кожи не является постоянной и изменяется в зависимости от положения тела и температуры окружающей среды. Абсолютные максимальные и минимальные значения температуры кожи составляют 45 °С и 4 °С соответственно [292].

Тепловой баланс – это условие поддержания энергетического баланса между телом человека и окружающей его средой. В условиях теплового баланса скорость генерации тепловой энергии организмом человека должна быть равна скорости потери тепловой энергии. Энергетический баланс между телом человека и окружающей средой, на единицу площади поверхности тела, можно записать следующим образом [293]:

$$S = M - W_k - E_c - E_{sk} - E_r \quad (3.5)$$

где  $S$  - мгновенный энергетический баланс организма человека (при тепловом равновесии  $S=0$ );  $M$ -скорость метаболизма, т.е. Внутреннее тепловыделение организма. Скорость метаболизма варьируется в зависимости от выполняемой деятельности, ее часто измеряют в  $met$  ( $1 met=58.15 W \cdot m^{-2}$ ). Во время сна метаболическое тепловыделение составляет около  $40 W \cdot m^{-2}$ , тогда как во время экстремальных физических нагрузок метаболическое тепловыделение может составлять более  $600 W \cdot m^{-2}$ ;  $W_k$  - это внешняя работа, а именно механическая работа, выполняемая организмом человека;  $E_c$  - сухая потеря тепла от кожи, вызванная проводимостью, конвекцией и излучением;  $E_{sk}$  - это испарительная потеря тепла с кожи;  $E_r$  - ощутимая потеря тепла дыхания.

В уравнении (3.5) выражена единичная площадь поверхности тела. Чтобы учесть различия в разных размерах и формах людей, многие ученые представили различные уравнения [294-297], среди которых наиболее широко используется формула Дюбуа [298]:

$$A = 0.007184 \cdot W^{0.425} \cdot H^{0.725} \quad (3.6)$$

где  $A$  - площадь поверхности тела,  $W$  - масса тела,  $H$  - рост.

Для поддержания теплового баланса в различных условиях окружающей среды разрабатываются и производятся защитные материалы в виде укрытия и одежды. Общая термостойкость и стойкость к водяному пару в системе одежды - это сложная интеграция термостойкости и паропроницаемости слоев одежды и захваченного воздуха. Они различаются в зависимости от способа ношения одежды, положения тела, движения тела и условий окружающей среды, таких как ветер, дождь и радиация.

### 3.6. Разработка методов исследования процессов переноса тепла и влаги

Сопряженный перенос тепла и влаги в пористых материалах является распространенным явлением в инженерных областях, таких как гражданское строительство и функциональный текстиль. Исследования таких процессов важны для многих областей применения, например, для тепломассопереноса в зданиях [299-301], систем кондиционирования воздуха [302-303], сушки древесины [304], теплообменников [305], транспорта в композите, мембраны [306], теплоизоляция [307] и производство сахара [308].

Ранние модели переноса влаги были ориентированы на анализ пористой почвы. Эта пионерская работа восходит к 1850-м годам, когда были опубликованы законы Фика (1855) и Дарси (1856), которые были первыми моделями для оценки переноса влаги. Первый закон Фика связывает диффузионный поток с концентрацией в предположении устойчивого состояния. Закон таков:

$$J = -D \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad (3.7)$$

где  $J$  - массовый расход,  $D$  - массовый коэффициент диффузии, а  $\phi$  - массовая концентрация.

Закон Дарси описывает течение жидкости через пористую среду. Закон таков:

$$q = \frac{-k}{\mu} \nabla P, \quad (3.8)$$

где  $q$  - объемный поток на единицу площади,  $k$  - внутренняя проницаемость среды,  $\mu$  - динамическая вязкость водяного пара, а  $\nabla P$  - вектор градиента давления.

В начале двадцатого века В.К.Льюис [309] и Л.А.Ричардс [310] разработали модели переноса влаги для ненасыщенных пористых сред.

Сопряженный перенос тепла и влаги был впервые изучен П.С.Генри [311]. В 1939 году он предложил систему дифференциальных уравнений, таких как уравнения диффузии пара и термодиффузии, для описания сопряженной диффузии тепла и влаги в кипы хлопка. Уравнениями модели являются сохранение массы и энергии. Поскольку эти уравнения являются нелинейными и сложными, Генри получил аналитическое решение, сделав ряд упрощенных предположений.

В 1948 году Генри [312] расширил свои исследования, предложив математическую модель для описания связанных процессов переноса тепла и влаги в текстиле. Он получил аналитическое решение, предполагая линейную зависимость между содержанием влаги и температурой, предполагая, что волокна мгновенно достигают равновесия с соседним воздухом. Эти допущения приводят к значительным ошибкам в определенных обстоятельствах и поэтому ограничивают применение модели.

В 1958 г. Ж.Г.Даунс и Б.Х.Маккей [313] экспериментально исследовали сорбцию водяного пара шерстью. Они обнаружили, что процесс сорбции можно разделить на две стадии: интервал и интегральная сорбция. Процесс интервальной сорбции подчиняется закону диффузии Фика с коэффициентом диффузии, зависящим от концентрации. Процесс интегральной сорбции намного медленнее из-за структурных изменений в волокнах, которые вызывают низкое конечное значение коэффициента диффузии.

В 1967 году П.Нордон и Х.Г.Дэвид [314] моделировали двухстадийный процесс сорбции, который был обнаружен Ж.Г.Даунс и Б.Х.Маккей [313]. Они предложили экспоненциальную функцию для описания скорости изменения содержания воды в волокне, которую можно регулировать в соответствии с различным содержанием влаги в ткани.

В 1969 году, чтобы смоделировать двухстадийный процесс сорбции волокон шерсти Х.Г.Дэвид и П.Нордон [315] предположили, что в процессе сорбции или десорбции влаги не происходит усадки или расширения, и предложили экспоненциальную зависимость между концентрацией влаги и распределением температуры в шерсти. Они смогли решить модель численно. Однако ими пренебрегли, чтобы учесть механизмы сорбции волокон, и коэффициент в уравнениях скорости сорбции должен был быть определен путем сравнения теоретических предсказаний с экспериментальными результатами. Были указаны некоторые направления для расширения двухстадийной модели сорбции, такие как изучение кинетики сорбции-десорбции в текстиле и связь между изотермой шерсти и воды и температурой.

В 1981 году Й.Огневич и С.Л.Тиен [316] проанализировали сопряженный перенос тепла и влаги с конденсацией в пористой среде. Они предположили, что эффект конденсации, обусловленный выделением скрытой теплоты, сыграл важную роль в процессе теплопередачи и конденсат находится в маятниковом состоянии. Три безразмерных параметра, то есть число Пекле, число Льюиса и число Био, были указаны в качестве стандартных параметров для оценки влияния свойств пористой среды. Эта квазистационарная модель была позже разработана для учета подвижных конденсатов [317] и нестационарного процесса переноса тепла и влаги [318].

В 1986 году Б.Фарнворт [319] представил первую численную модель, описывающую сопряженный перенос тепла и влаги с сорбцией и конденсацией через одежду. Предполагалось, что температура и содержание влаги в каждом слое одежды были однородными, что не учитывало сложность изотермы сорбции влаги и кинетики сорбции волокон.

С.Мотакеф и М.А.Эль-Масри [317] проанализировали одномерный сопряженный тепломассоперенос с фазовым переходом в пористой плите. Были рассмотрены как неподвижные, так и подвижные конденсаты. Они обнаружили, что стационарное состояние соответствует неподвижному конденсату, где конденсат накапливается линейно со временем. Условие квазисостояния соответствует подвижному конденсату, в котором конденсаты диффундируют к границам влажной зоны в виде жидкости и повторно испаряются на этих границах, оставляя профили температуры, концентрации пара и содержания жидкости со временем.

В 1990 г. А.П.Шапиро и С.Мотакеф [318] провели дальнейший анализ нестационарных процессов переноса тепла и влаги с фазовым переходом в плите с открытыми порами и сравнили аналитические и экспериментальные результаты для подвижных и неподвижных конденсатов. Считалось, что три процесса: диффузия влаги, движение конденсата и теплопередача связаны через скорость конденсации, которая может быть измерена значением коэффициента диффузии конденсата. Этот анализ действителен, когда промежуток времени для движения сухой влажной границы в пористой среде намного больше, чем промежуток времени термодиффузии; однако это не имело место с заморозками и низким накоплением влаги [320].

В 1995 году К.Мурата [321] исследовал перенос тепла и влаги при конденсации в волокнистой изоляционной плите, температура горячей поверхности которой составляла до 100 °С как теоретически, так и экспериментально. Впервые падение конденсата рассматривалось под действием силы тяжести. К.Мурата представил стационарную модель для анализа этого явления. Влияние силы тяжести на движение жидкости было дополнительно проанализировано в процессе тепломассопереноса в пористом текстиле, предполагая, что жидкая вода движется под действием капилляров с изменением фазы и гравитационной силы [322].

В 1999 году Й.Ли и Ж.Луо [323] представили улучшенную двухстадийную модель, которая учитывала унифицированное уравнение диффузии с двумя наборами переменных коэффициентов диффузии для моделирования сопряженной диффузии влаги и тепла в шерстяной ткани. Зависимый от содержания влаги коэффициент был использован на первой стадии, а зависящий от времени коэффициент - на второй стадии. Прямой метод конечных разностей был использован для численного решения уравнения диффузии. Однако эти исследования были сосредоточены только на шерстяной ткани. Особенности и различия в физических механизмах сопряженной диффузии влаги и тепла в ткани, изготовленные из разных волокон, систематически не исследовались.

В 2000 году Й.Ли и Ж.Луо [324] представили математическое моделирование для изучения физических механизмов диффузии влаги в гигроскопичные ткани во время переходов влажности. Чтобы еще больше расширить свое предыдущее исследование [323], многочисленные волокна, такие как хлопок, акриловый полиэфир и полипропилен, были использованы для получения экспериментальных данных для проверки модели.

Когда пористая среда ограничена непроницаемой поверхностью, пористость и, следовательно, проницаемость будут увеличиваться вблизи поверхности, что можно назвать эффектом переменной проницаемости. Реес и И.Поп [325] исследовали, как явление этого эффекта может влиять на процесс тепломассопереноса, предполагая, что область переменной проницаемости имеет постоянную толщину.

Ж.Фан и др. [326] разработана модель тепломассопереноса с сорбцией и конденсацией в пористых материалах. В этой модели были рассмотрены динамические изменения температуры, концентрации влаги, сорбции и накопления воды, а также влияние содержания воды на эффективную теплопроводность. Теплопередача за счет проводимости и излучения также учитывалась. Конвективный теплообмен не рассматривался, поскольку незначительный конвективный теплообмен был виден в тканях по результатам экспериментов.

В 2004 году Х.Ченг и Ж.Фан [327] сообщили об улучшенной модели, которая учитывала связанные процессы тепло- и влагопереноса с фазовым переходом и подвижными конденсатами в волокнистых материалах. Движение влаги объяснялось такими факторами, как парциальное давление водяного пара,

состояние пересыщения в области конденсации, динамическое поглощение влаги волокнистыми материалами и движение жидких конденсатов, которые могут влиять на связанные процессы тепло- и влагопереноса.

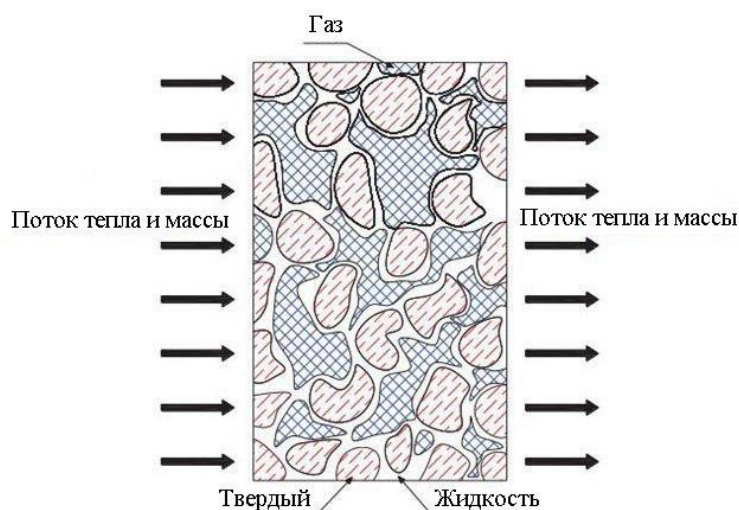
В 2007 году Й.Ли и Ж.Фан [328] исследовали переходное тепло- и влагоперенос в изоляции одежды из волокнистых ватин и тканевых покрытий с учетом влияния конденсата на пористость и проницаемость волокнистых ватин. Метод конечных объемов был применен в решении этой модели.

В 2012 году Ж.Фан и Ж.Хе [329] впервые предложили модель с фрактальной производной для сложного процесса воздухопроницаемости в иерархическом пространстве. Эта модель фрактальной производной была в состоянии объяснить новое явление воздухопроницаемости кокона из теории, которая принесла пользу биомимическому дизайну, такому как функциональный текстиль из биоматериала.

До настоящего времени все больше и больше процессов теплопередачи моделировалось численными методами, оптимальная конструкция изделий значительно выигрывала от результатов новых характеристик теплопередачи и теплопередачи из этих результатов моделирования. Например, новый микроканальный радиатор с микрошпалкой был разработан на основе моделирования его типичного процесса теплопередачи [330]; был смоделирован тепломассоперенос сверхкритического углеводородного топлива с пиролизом в мини-канале и найдена граница химической реакции в области, прилегающей к стенке [331].

### **3.7. Основы тепломассопереноса через пористые материалы**

В микроскопическом масштабе пористый материал представляет собой тело, состоящее из множества твердых матриц с различной формой, размером и случайным распределением, и поэтому между твердыми матрицами существует много пустых пространств (пор). Некоторые поры взаимосвязаны, а другие не связаны. Эти поры заполнены газом или жидкостью или ими двумя. В результате пористый материал можно рассматривать как двухфазную (газ-твердое или жидкость-твердое вещество) или трехфазную (газ, жидкость и твердое вещество) смесь. Поток тепла и массы может передаваться через пористые материалы (рисунок 3.7).



**Рис. 3.7. Поток тепла и массы через пористые материалы**

Тепловой поток через пористый материал вызывает поток влаги, и поток влаги может затем влиять на тепловой поток через конденсацию, испарение и замерзание, а также на перенос тепла с паром и жидкой водой [332]. В результате теплопередача и влагоперенос взаимодействуют друг с другом, и они должны обрабатываться одновременно в процессах теплопередачи и влагопереноса.

*Процесс теплопередачи через пористый материал.* Многие механизмы могут участвовать в передаче тепла через пористые материалы, такие как теплопроводность, тепловая конвекция, тепловое излучение и скрытая теплопередача при фазовых переходах. Каждый механизм имеет свои особенности, но эти механизмы часто возникают одновременно во время одного и того же процесса теплообмена.

*Теплопроводность.* Теплопроводность - это процесс передачи тепла через стационарную среду, твердую или жидкую. Когда температура объекта отличается от другого объекта, тепловой поток происходит так, что два объекта достигают одинаковой температуры, и в этот момент они находятся в тепловом равновесии. Такой самопроизвольный перенос тепла происходит от объекта с более высокой температурой к другому объекту с более низкой температурой, как описано вторым законом термодинамики. Передача энергии посредством проводимости может происходить только при наличии физического контакта между объектами.

В микроскопическом масштабе тепло передается проводимостью, когда соседние атомы вибрируют друг против друга или когда электроны перемещаются от одного атома к другому. Твердые вещества более проводящие, чем жидкости и газы.

Закон Фурье используется для описания процесса теплопроводности. Это показывает, что передача энергии через единичную площадь поперечного сечения посредством теплопроводности в единицу времени прямо пропорциональна скорости изменения температуры вдоль направления,

перпендикулярного поперечному сечению. Закон Фурье выражается уравнением (3.9):

$$\Phi = -\lambda A \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (3.9)$$

где  $\Phi$  - проводящий тепловой поток,  $T$  - эффективная теплопроводность,  $x$  - температура, а  $x$  - координатная ось, перпендикулярная области  $A$ .

В декартовой системе координат дифференциальное уравнение теплопроводности выражается уравнением (3.10) [333]

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial x} = \lambda \operatorname{div}(\operatorname{grad} T) + \Phi, \quad (3.10)$$

где  $\rho$  - массовая концентрация,  $c_p$  - эффективная теплоемкость,  $\lambda \operatorname{div}(\operatorname{grad} T)$  - оператор Лапласа температуры  $\nabla^2 T$ , а  $\Phi$  - внутренний источник тепла. Когда  $\rho c_p$  постоянна, температуропроводность  $a$  вводится как  $\frac{\lambda}{\rho c_p}$ . Затем

$$\frac{\partial T}{\partial x} = a \nabla^2 T + \frac{\Phi}{\rho c_p} \quad (3.11)$$

*Тепловая конвекция.* Тепловая конвекция - это процесс передачи тепла из одного места в другое при движении и перемешивании жидкостей. Из-за причины тепловой конвекции это может быть классифицировано как естественная тепловая конвекция и принудительная тепловая конвекция. Естественная тепловая конвекция - это термин, используемый, когда это движение и перемешивание вызваны силами плавучести из-за изменений плотности, возникающих из-за разницы температур внутри жидкости. Принудительная тепловая конвекция - это термин, используемый, когда это движение и перемешивание вызваны внешними средствами, такими как вентиляторы и насосы. Кроме того, все процессы термической конвекции перемещают тепло частично, за счет диффузии.

Анализировать теплопередачу с помощью тепловой конвекции труднее, чем с помощью теплопроводности, поскольку теплопередача с помощью тепловой конвекции зависит от условий потока. Четыре основных метода были использованы для анализа теплопередачи с помощью тепловой конвекции, включая аналитические, экспериментальные, аналогичные и численные методы. Экспериментальный метод используется более широко на практике.

Скорость теплопередачи тепловой конвекцией можно рассчитать по (3.12),

$$Q = h \cdot \Delta T, \quad (3.12)$$

где  $Q$  - скорость конвективного теплообмена;  $h$  - коэффициент конвективной теплопередачи, который зависит от физических свойств жидкости и физического состояния.

Как правило, коэффициент конвективного теплового переноса для ламинарного потока является относительно низким по сравнению с коэффициентом конвективного теплового переноса для турбулентного потока. На коэффициент конвективной теплопередачи могут влиять многие факторы, такие как теплопроводность ( $\lambda$ ), вязкость ( $\mu$ ), плотность ( $\rho$ ), удельная

теплоемкость ( $c_p$ ), геометрия ( $D$ ), положение ( $x$ ), изменение температуры ( $\Delta T$ ) и скорость потока ( $u$ ) [333].

$$h = f(\lambda, \mu, \rho, c_p, D, x, \Delta T, u) \quad (3.13)$$

*Тепловое излучение.* Тепловое излучение - это процесс передачи тепла к объекту или от него посредством излучения или поглощения фотонов в электромагнитных волнах. Поскольку фотоны в электромагнитных волнах не требуют среды для своего распространения, излучающая энергия может передаваться через вакуум.

Излучающая сила черного тела следует закону Стефана-Больцмана, который выглядит как

$$E_b = \sigma T^4, \quad (3.14)$$

где  $E_b$  - излучающая сила черного тела;  $\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана, равная  $5.6705 \times 10^{-8} \text{w}/(\text{K}^4 \cdot \text{m}^2)$ .

*Скрытое тепло.* Когда состояние вещества изменяется, то есть фазовый переход из воды в лед, из воды в пар, из пара в воду или из льда в воду, тепло выделяется или поглощается организмом или термодинамической системой в процессе постоянной температуры. Этот вид тепла называется скрытым теплом [334].

Скрытая теплота для данной массы вещества рассчитывается по формуле (3.15)

$$Q = mL, \quad (3.15)$$

где  $Q$  - количество энергии, выделяемой или поглощаемой при изменении фазы вещества;  $m$  - масса вещества;  $L$  - удельная скрытая теплота для конкретного вещества

### 3.8. Процесс переноса влаги через пористые материалы

Влага в пористых материалах может присутствовать в виде пара, воды или льда соответственно. Влага, которая может быть передана через пористый материал, в основном состоит из пара, воды или и того, и другого. Существует четыре механизма переноса влаги, которые могут влиять на процесс переноса влаги через пористый материал, такой как конвекция влаги, диффузия влаги, перенос жидкости из-за различий в напряжении капиллярного всасывания и перенос жидкости из-за силы тяжести [335]. Структура пористого материала и условия окружающей среды влияют на формы переноса влаги. Транспорт водяного пара происходит из-за градиентов парциального давления пара и перемещается из области высокого давления в область низкого давления при перепаде давления [336]. Газ рассматривается как объемный поток водяного пара [337-338]. Хотя плотность водяного пара мала, объемная скорость потока велика при определенных перепадах давления. При более строгом анализе физического процесса, который происходит в пористом материале, присутствие влаги подразумевает дополнительный механизм транспорта: в ненасыщенных порах жидкая вода испаряется на теплой стороне, поглощая скрытое тепло

испарения. В то же время из-за градиента давления пара паром конденсируется на самой холодной стороне поры, выделяя скрытую теплоту испарения. Скрытый перенос тепла может вызвать большие расхождения в значениях температуры и влажности внутри кокона [339].

*Распространение влаги.* Когда жидкость состоит из двух или более двух компонентов и существует градиент концентрации, каждый компонент будет двигаться в направлении более низкой концентрации, чтобы уменьшить разницу. Градиент концентрации является движущей силой диффузии влаги. Например, одежду сушат в безветренной среде из-за диффузии влаги, которая относится к явлению массопереноса смеси паров воздуха.

Концентрация каждого компонента выражается массовой концентрацией  $\rho$  и концентрацией вещества  $c$ :

$$\rho_A = \frac{m_A}{V}, \rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (3.16)$$

$$c_A = \frac{n_A}{V}, c_B = \frac{n_B}{V}, \quad (3.17)$$

где  $m_A$  и  $m_B$  - качество компонентов А и В в объеме  $V$  смеси;  $n_A$  и  $n_B$  - количество вещества компонентов А и В в объеме  $V$  смеси.

Компонент А и компонент В разделены на разных сторонах контейнера (рисунок 3.8). Когда вагонка удаляется, компоненты А и В будут диффундировать из-за градиента концентрации. Закон Фика может быть использован для расчета переданного качества и количества вещества путем диффузии на единицу площади, перпендикулярной направлению диффузии в единицу времени:

$$M_A = -D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial x} \quad (3.18)$$

$$N_A = -D_{AB} \frac{\partial c_A}{\partial x}. \quad (3.19)$$

где  $M_A$  - плотность потока массы;  $N_A$  - величина плотности потока вещества;  $D_{AB}$  - коэффициент диффузии массы, индекс АВ указывает, что компонент А диффундирует в компонент В.

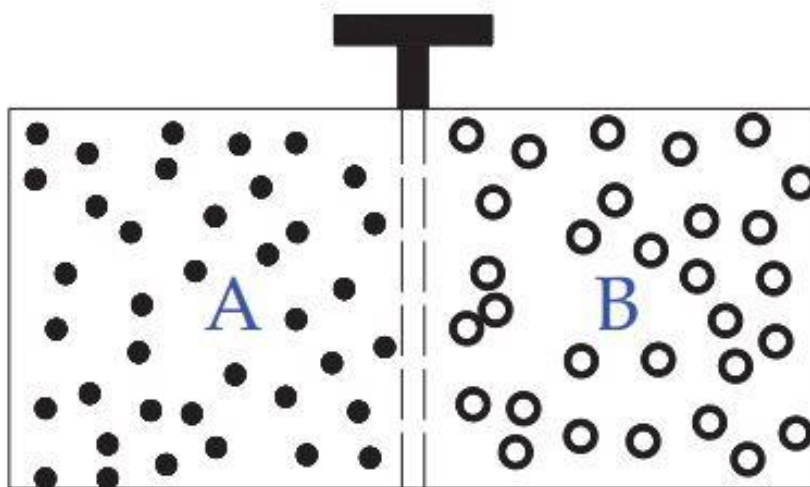


Рис. 3.8. Распространение компонента А и компонента В

Коэффициент диффузии массы  $D$  является физическим параметром, на который могут влиять свойства, давление и температура смеси. Показывает диффузионную способность материала. Для газа массовая диффузия  $D_0$  определена в условиях известной температуры  $T_0$  и известного давления  $p_0$ . Коэффициент диффузии массы  $D$  при температуре  $T$  и давлении  $p$  можно оценить по уравнению (3.20):

$$D = D_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^2 \frac{p_0}{p}. \quad (3.20)$$

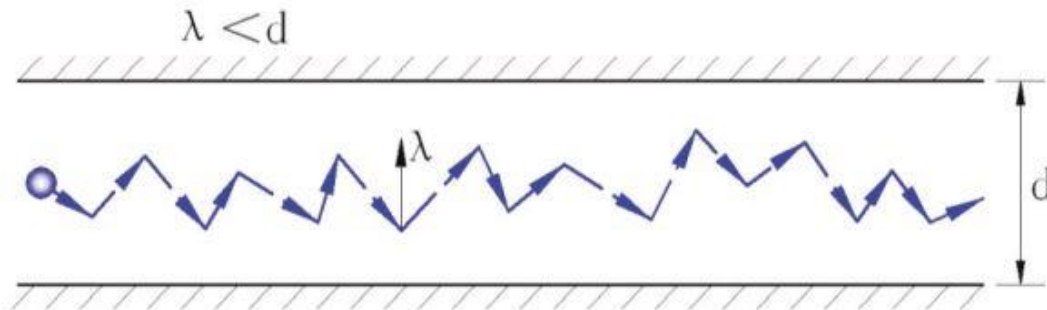
Когда в пористом материале переносится влага, размер пор в пористом материале влияет на процесс переноса. Основываясь на соотношении между масштабной длиной пор в пористом материале и средней длиной свободного пробега участвующих частиц, диффузия может быть разделена на диффузию Фика, диффузию Кнудсена и диффузию перехода.

В физике средняя длина свободного пробега - это среднее расстояние, которое проходит частица до столкновения с другой частицей. Его можно рассчитать по (3.21) [340],

$$\bar{\lambda} = \frac{k_B T}{\sqrt{2\pi d^2 p}} \quad (3.21)$$

где  $k_B$  - постоянная Больцмана [341] со значением  $1.3806488(13) \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Диффузия Фика происходит, когда размер пор относительно велик по сравнению со средней длиной свободного пробега, которая показана на рисунке 3.9 [342]. При этом условия более вероятно столкновение частицы с другой частицей, чем столкновение со стенкой канала.



**Рис. 3.9. Диффузия Фика по пористому материалу**

Переданное качество и количество вещества путем диффузии в единичной области, перпендикулярной направлению диффузии в единицу времени в пористом материале, можно рассчитать по формуле (3.22, 3.23)

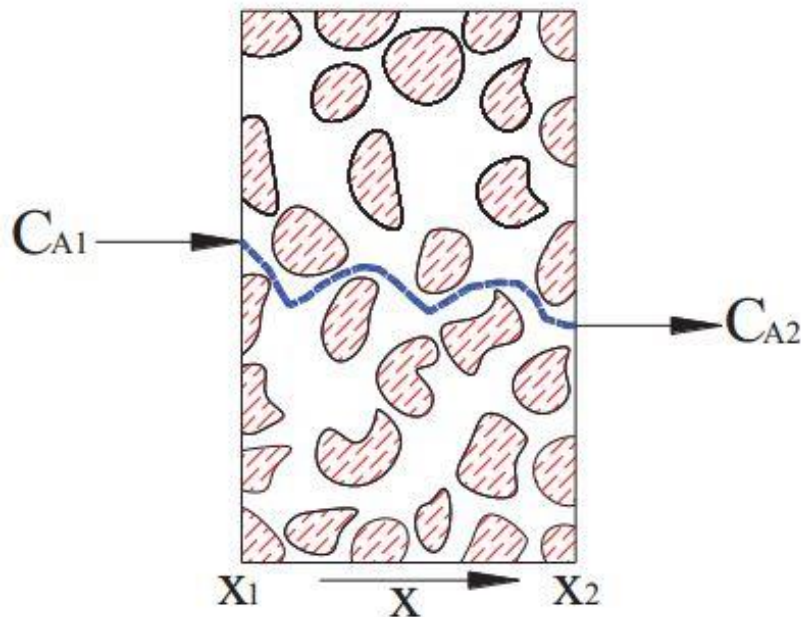
$$M_A = -D_p \frac{\partial \rho_A}{\partial x} \quad (3.22)$$

$$N_A = -D_p \frac{\partial c_A}{\partial x}, \quad (3.23)$$

где  $D_p$  - эффективный коэффициент диффузии массы. Если  $D$  используется для выражения диффузии в пористом материале, необходима корректировка. Например, физиологический раствор хранится в зазоре пористого твердого вещества (рисунок 3.10). Концентрация соли на границе 1 равна  $C_{A1}$ , концентрация соли на границе 2 -  $C_A$  и  $C_{A1} > C_{A2}$ . Следовательно, молекулы соли

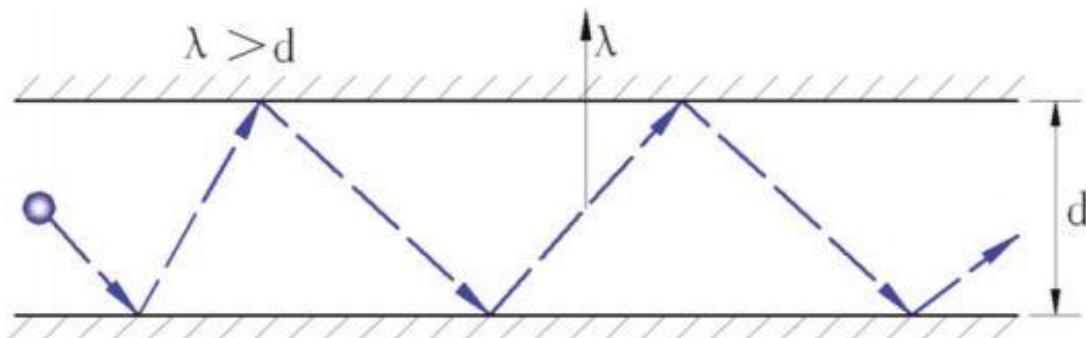
диффундируют от границы 1 к границе 2 через воду. В процессе диффузии путь молекул соли не прямой, а извилистый из-за твердой матрицы. Расстояние, пройденное молекулами соли, больше  $(x_1-x_2)$  и должно быть  $(x_1-x_2) \cdot \tau$ , где  $\tau$  - эффективная извилистость. С другой стороны, когда молекулы соли диффундируют в пористом твердом теле, площадь диффузии не является общей площадью сечения. Пористость  $\epsilon$  следует учитывать. Следовательно,  $D_p$  можно рассчитать по (3.24),

$$D_p = \frac{\epsilon D}{\tau} \quad (3.24)$$



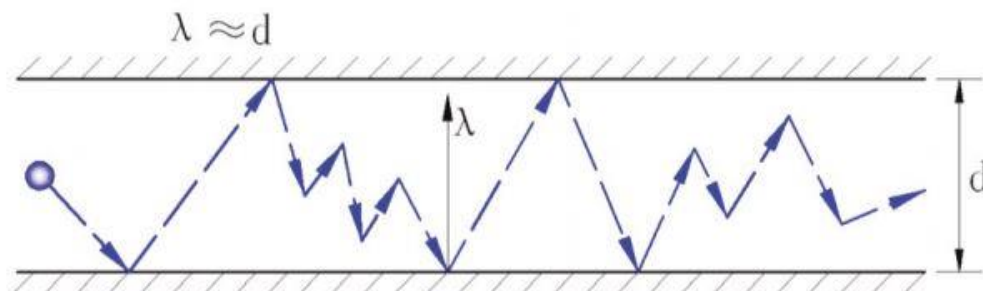
**Рис. 3.10. Солевой раствор в пористом твердом веществе**

Диффузия Кнудсена происходит, когда размер пор относительно невелик по сравнению со средней длиной свободного пробега, показанной на рисунке 3.11 [343]. При этом условии более вероятно столкновение частицы со стенкой канала, чем столкновение с другой частицей. Следовательно, сопротивление диффузии в основном зависит от сопротивления столкновению между стенкой и частицей. Очевидно, что диффузия Кнудсена не подчиняется закону Фика.



**Рис. 3.11. Диффузия Кнудсена в пористом материале**

Переходная диффузия происходит, когда размер пор подобен длине свободного пробега, которая показана на рисунке 3.12 [344]. Переходная диффузия обладает характеристиками диффузии, как по Кнудсену, так и по Фика, и на них она оказывает значительное влияние.



**Рис. 3.12. Переход диффузии в пористом материале**

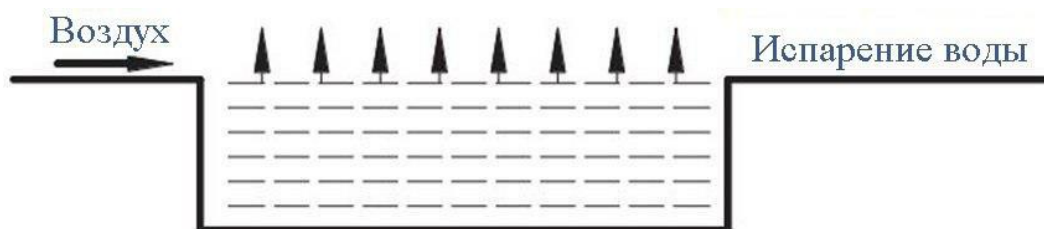
Когда давление составляет 1013 мбар, а температура в пределах 20 °С, длина свободного пробега воздуха составляет 68 нм, что намного меньше, чем зазор между двумя примыкающими шелковыми волокнами [345]. По этой причине процесс переноса москитов путем диффузии в коконе является диффузией Фика.

*Влажная конвекция.* Конвекция - это согласованное, коллективное движение ансамблей молекул внутри жидкостей (например, жидкостей, газов). Именно обмен массами происходит на межфазной границе (рисунок 3.13). Конвекция массы не может происходить в твердых телах, поскольку в твердых телах не протекает ни объемный ток, ни значительная диффузия. Переданная масса может быть рассчитана по функциям, аналогичным закону охлаждения Ньютона [346]:

$$M_A = h_m(\rho_{A,w} - \rho_{A,f}) \quad (3.25)$$

$$N_A = h_m(c_{A,w} - \rho c_{A,f}), \quad (3.26)$$

где  $\rho_{A,w}$ ,  $w$  и  $c_{A,w}$  - массовая концентрация и количество концентрации вещества компонента А на границе раздела фаз;  $\rho_{A,f}$  и  $c_{A,f}$  - массовая концентрация и количество концентрации вещества компонента А в основной жидкости;  $h_m$  - коэффициент конвективного массопереноса.



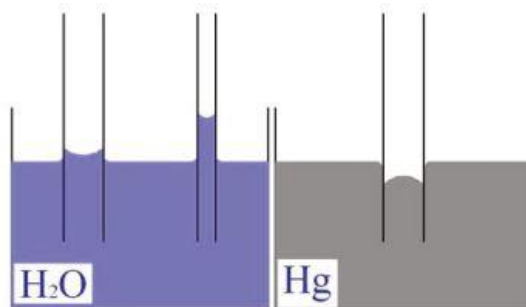
**Рис. 3.13. Пример массопереноса с помощью конвекции**

На коэффициент конвективного массообмена влияют многие различные факторы [347-349], то есть причины и свойства потока, физические свойства жидкости, геометрические особенности поверхности канала потока.

*Капиллярный эффект.* Капиллярное действие - это способность жидкости течь в узких пространствах из-за разницы между силой сцепления и силой адгезии и в противодействии внешним силам, таким как сила тяжести. Например, вода, поглощенная корнем растения, может подниматься в стебле из-за капиллярного эффекта. Когда сила сцепления между жидкостью и «пространством» больше, чем сила сцепления, происходит капиллярное действие. Капиллярный эффект может сильно влиять на процесс переноса влаги в пористом материале [350].

Капиллярность обычно используется для выражения капилляров. Когда дно тонкой стеклянной трубки расположено вертикально в воде, уровень жидкости в трубке поднимается и превышает уровень жидкости снаружи трубки. Из-за силы сцепления между водой и стенкой трубки уровень жидкости снаружи выше, чем уровень жидкости в центре. Чем меньше диаметр трубки, тем выше поднимается жидкость.

В других группах жидкости и твердого вещества, таких как стеклянная трубка и ртуть, ситуация может быть противоположной. Поскольку сила сцепления между атомами ртути больше, чем сила сцепления между ртутью и стеклянной стенкой, уровень ртути в жидкости в центре выше, чем уровень ртути в жидкости вокруг (рисунок 3.14).



**Рис. 3.14. Капиллярный эффект воды и ртути**

Высота  $H$  столба жидкости определяется формулой [351]:

$$H = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g r}, \quad (3.27)$$

где  $\gamma$  - поправочный коэффициент Шраге;  $r$  - радиус трубы.

Когда  $\theta > 90^\circ$ , уровень жидкости является выпуклым; когда  $h < 0$ , жидкость падает в капилляр, как ртуть в стеклянной трубке.

*Гравитационный эффект.* Гравитация - это сила притяжения между всеми массами [340]. Из-за силы притяжения землей объекты могут быть взволнованы и иметь тенденцию падать на землю. На воду в пористых материалах также может влиять сила тяжести. «Каждая частица во вселенной притягивает каждую другую частицу с силой, которая прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними» [352]. Если массы двух частиц равны  $m_1$ ,  $m_2$  соответственно, а расстояние между двумя частицами равно  $r$ , универсальная гравитация  $F$  может быть вычислена по формуле (3.28)

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (3.28)$$

где  $G$  - гравитационная постоянная и  $G = 6,67384 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$  [341].

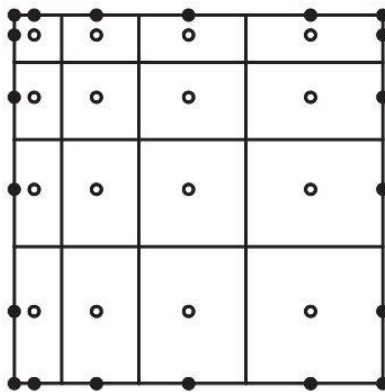
### 3.9. Метод конечных объемов

Численный расчет может быть использован для решения уравнения в частных производных, которые описывают физическое явление, включая потоки жидкости и процессы теплообмена. Существует много численных методов для решения этих задач, включая метод конечных разностей [353], метод конечных элементов [354], метод конечных объемов [355], метод граничных элементов [356], метод характеристик [357], спектральный метод [358], метод конечных аналитов [359], метод классов решеток [360] и т.д. Каждый метод имеет свои подходящие приложения, и первые четыре метода широко используются. При численном расчете этого тезиса применяется метод конечных объемов.

Метод конечных объемов разработан на основе метода конечных разностей и аналогичен методу конечных элементов. В методе конечных объемов в качестве отправной точки используется интегральная форма уравнений сохранения. Например, отправной точкой дискретных уравнений метода конечных объемов для одномерного стационарного уравнения конвекции-диффузии является:

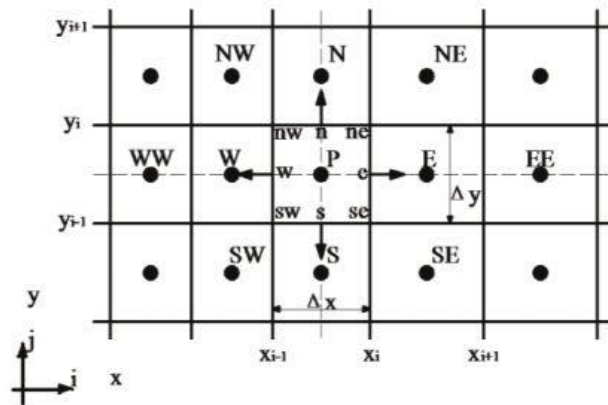
$$\int_v \frac{d}{dx} (\rho u \phi) dV = \int_v \left( \frac{d\phi}{dx} \right) dV \quad (3.29)$$

Область решения подразделяется на конечное число смежных контрольных объемов, которые используются уравнениями сохранения. Значения переменных должны быть рассчитаны в вычислительном узле, который находится в центре тяжести каждого контрольного объема. Обычный подход определения контрольных объемов состоит в том, чтобы создать подходящую сетку и назначить вычислительный узел центру контрольного объема. На рисунке 3.15 показан один тип сеток конечного объема. Узлы, к которым применяются граничные условия, показаны как полные символы на этом рисунке.

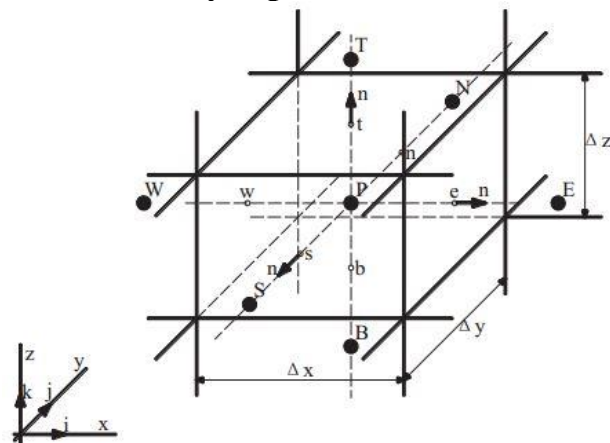


**Рис. 3.15. Пример сеток конечного объема с узлами в центре контрольных объемов**

На рисунках 3.16 и 3.17 показаны типичные двумерные и трехмерные декартовы контрольные объемы. Четыре (2D) или шесть (3D) плоских граней расположены вокруг поверхности контрольного объема, обозначенной строчными буквами, соответствующими их направлению (e, w, n, s, t и b) относительно центрального узла (P).



**Рис. 3.16. Типичный контрольный объем, используемый для декартовой двумерной сетки**



**Рис. 3.17. Типичный контрольный объем, используемый для декартовой трехмерной сетки**

Метод конечных объемов может вместить любой тип сетки, поэтому он подходит для сложных геометрий. Кроме того, все члены, которые должны быть аппроксимированы в методе конечного объема, имеют физические значения, что необходимо при численном расчете потока жидкости и теплообмена.

По сравнению с методом конечных разностей недостаток метода конечных объемов состоит в том, что для трехмерной модели требуется гораздо больше вычислений.

## ГЛАВА 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА И ВЛАГИ В СТЕНКАХ КОКОНА ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА

Тепломассоперенос и взаимодействие его составляющих в пористых средах являются очень сложными процессами, которые включают в себя множество областей исследований [361-363], таких как текстиль [364-365], строительство [301], система кондиционирования воздуха [366], теплообмен [367], транспорт в композитной мембране [306], теплоизоляция [307] и производство сахара [308]. В этой главе построена модель для исследования тепловых и влагопереносных свойств стенок кокона тутового шелкопряда [368-371]. Уравнения сохранения энергии и массы, использовались для описания процессов переноса тепла и влаги в стенках кокона тутового шелкопряда [372-376].

### 4.1. Математические описания явлений и процессов в элементах кокона

*Описание модели.* Типичная система коконов, которую можно рассматривать как тонкий пористый волокнистый ватин (толщиной  $\approx 0,7$  мм), окружающий куколку в форме сфероидальности, показан на рисунке 4.1. Обмен тепла и влаги через стенку кокона не прекращается до тех пор, пока не будет достигнут баланс между внутренней и внешней поверхностью кокона. Процесс теплопередачи через пористые материалы может включать различные механизмы, такие как теплопроводность, тепловая конвекция, тепловое излучение и скрытая теплопередача при фазовых превращениях. Механизмы переноса влаги включают диффузию, конвекцию и образование водяного пара.

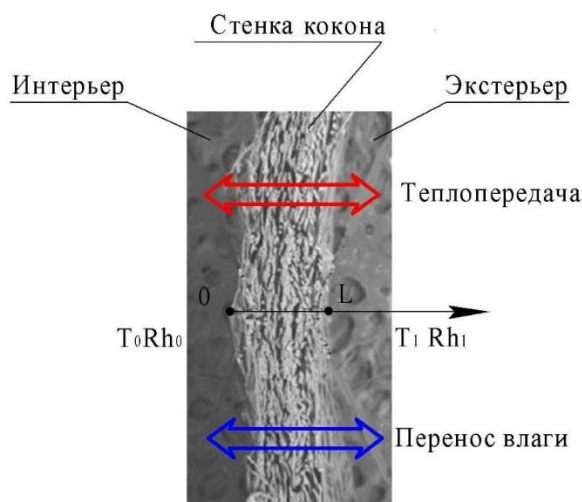
Для облегчения моделирования, изучены лишь характеристики тепло- и влагопереноса стенок коконов тутового шелкопряда, а не коконов в целом, и для моделирования использовалась упрощенная геометрия. Базовая структура модели переноса тепла и влаги показана на рисунке 4.2. Начало координатной плоскости построено в центре внутренней поверхности стенки кокона. Центр наружной поверхности стенки кокона находится в « $L$ », абсолютное значение которого равно толщине стенки кокона. Влага переносится по дорожке, образованной шелковыми волокнами; тепло передается через шелковые волокна и окружающий их воздух. Между тем тепло и влага обмениваются на границе раздела между окружающей средой и стенкой кокона. Поэтому перенос тепла и влаги происходит одновременно и должен анализироваться совместно.

Математическая модель терломассообмена построена на основе следующих допущений: пористая волокнистая ватина однородна во всех направлениях, ожидаемых в направлении потока; любая плоскость на пути потока, которая включает все границы, является однородной; газ является непрерывным идеальным газом; твердая, жидкая и газовая фазы находятся в термодинамическом равновесном состоянии; локальное тепловое равновесие существует среди всех фаз; изменения объема волокон из-за изменения влажности и содержания воды не

учитываются; содержание влаги на поверхности волокон находится в сорбционном равновесии с содержанием окружающего воздуха; не происходят сокращения или расширения стенки кокона.



**Рис. 4.1. Процесс переноса тепла и влаги всего кокона**



**Рис. 4.2. Перенос тепла и влаги через стенку кокона**

*Уравнения сохранения энергии и массы.* Уравнения сохранения и определяющие уравнения были использованы для моделирования процессов переноса тепла и влаги. Масса, импульс и уравнения сохранения энергии были включены в уравнения сохранения. Закон Дарси [377], закон Фика [378] и закон Фурье использовались для описания определяющих уравнений.

Перенос влаги через пористые материалы, даже в одномерном процессе, является сложным явлением. Он включает в себя как транспортировку жидкости, так и пара. Могут присутствовать изменения фазы, такие как конденсация и испарение.

Перенос водяного пара в пустоте между волокнами контролируется уравнением сохранения массы:

$$\frac{d}{dt} \int c_{\text{п}} dV = - \int J_{\text{п}} dA + \int \Delta m_{\text{п}} dV \quad (4.1)$$

Левая часть уравнения отражает скорость накопления водяного пара в контрольном объеме, первая часть уравнения справа показывает расход

водяного пара через интерфейс контрольного объема, где  $-\int J_{\Pi} dA = \int \text{div} J dV$ , вторая часть выражает скорость генерирования водяного пара за счёт изменения фазы в контрольном объеме. На основании принятых условий уравнение сохранения массы (4.1) может быть упрощено как:

$$\frac{\partial c_{\Pi}}{\partial t} = -\text{div} J_{\Pi} + \Delta m_{\Pi} \quad (4.2)$$

Скорость потока водяного пара через интерфейс контроля объема можно разделить на две части: конвективный транспорт пара и диффузию пара. Следовательно:

$$\frac{\partial c_{\Pi}}{\partial t} = \underbrace{-u \nabla c_{\Pi}}_{\text{конвективный перенос пара}} + \underbrace{\frac{D_{\Pi}}{\tau} \nabla^2 c_{\Pi}}_{\text{диффузия пара}} + \underbrace{\Delta m_{\Pi}}_{\text{генерация водяного пара}} \quad (4.3)$$

где  $u$  - скорость переноса водяного пара;  $D_{\Pi}$  - коэффициент диффузии водяного пара в воздухе;  $\tau$  - эффективная извилистость волокнистого ватина.

Структура пористого материала и условия окружающей среды влияют на формы переноса влаги. Транспорт водяного пара происходит благодаря градиенту парциального давления пара, который перемещается из области высокого давления в область низкого давления при их перепаде [336]. Газопроницаемость учитывается при объемном потоке водяного пара [337-338]. Хотя плотность водяного пара мала, объемная скорость потока велика при определенных перепадах давления. Движение водяного пара через кокон при полной разности давлений напоминает сушку древесины, что следует закону Дарси. Закон Дарси для газа (водяного пара) можно записать как [379]:

$$u = \frac{K_x}{\mu} \frac{\partial P_{\Pi}}{\partial x}, \quad (4.4)$$

где  $K_x$  - удельная проницаемость пористой ватины;  $\mu$  - динамическая вязкость водяного пара;  $P_{\Pi}$  - давление паровой фазы, которая рассчитывается по формуле  $P_{\Pi} = P_s \times Rhf$ , где  $P_s$  - давление насыщенного пара;  $Rhf$  - относительная влажность воздушного пространства в пористой ватине.

Коэффициент диффузии водяного пара в воздухе  $D_{\Pi}$ , является физическим параметром, выражает диффузионную способность. Его значение зависит от свойств смеси, давления и температуры, которые можно измерить из эксперимента. С точки зрения газа, когда коэффициент диффузии  $D_0$  известен при определенной температуре  $T_0$  и давлении  $D_0$ ,  $D_{\Pi}$  можно выразить в виде уравнения

$$D_{\Pi} = D_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^{1.5} \frac{P_0}{P} \quad (4.5)$$

Генерация водяного пара моделируется с использованием уравнения:

$$\Delta m_{\Pi} = -\frac{\Gamma}{\varepsilon}, \quad (4.6)$$

где  $\Gamma$  - скорость накопления воды;  $\varepsilon$  - пористость волокнистого ватина с учетом конденсатов.

Если волокна гигроскопичны, скорость поглощения  $\Gamma_c$  можно выразить как

$$\Gamma_c = \rho(1 - \varepsilon) \frac{\partial c_f}{\partial t}, \quad (4.7)$$

где  $\rho$  - плотность волокон;  $C_f$  - средняя концентрация водяного пара в волокне.

Можно проинтегрировать уравнение (4.7) и получить следующее

$$C_f = [2/(\rho R_f^2)] \int_0^{R_f} C_f' r dr, \quad (4.8)$$

где  $R_f$  - радиус волокон;  $C_f'$  - объемная концентрация влаги в волокне, которую можно рассчитать по уравнению равномерной диффузии

$$\frac{\partial C_f'}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r D_f \frac{\partial C_f'}{\partial r} \right] \quad (4.9)$$

где  $D_f$  - коэффициент диффузии, который имеет различные значения на разных этапах сорбции влаги. Функции коэффициента диффузии, определенные для тканей из шерсти, хлопка, пористых акриловых волокон и полипропиленовых волокон, приведены в табл. 4.1.

**Таблица 4.1**

**Функции коэффициентов диффузии**

Параметры	Коэффициент диффузии водяного пара (1-я степень)	Коэффициент диффузии водяного пара (2-я степень)
Условное обозначение	$D_f$	$D_f$
Единица измерения	$\text{м}^2/\text{с}$	$\text{м}^2/\text{с}$
Шерсть	$(1,04+68,20W_c-1342,59W_c^2) \times 10^{-14}, t < 540\text{s}$	$1,616405(1-\exp(-18,16323 \exp(-28,0W_c))) \times 10^{-14}, t \geq 540\text{s}$
Хлопок	$(0,8481+50,6W_c-1100W_c^2) \times 10^{-14}, t < 540\text{s}$	$2,5(1-\exp(-3,5385 \exp(-45W_c))) \times 10^{-14}, t \geq 540\text{s}$
Пористый	$(1,12+410W_c-8200W_c^2) \times 10^{-13}$	$6,23 \times 10^{-13}, t \geq 540\text{s}$
Акриловые волокна	$t < 540\text{s}$	$t \geq 540\text{s}$
Полипропилен волокна	$1,3\text{E}-13, t < 540\text{s}$	$1,3\text{E}-13, t \geq 540\text{s}$

Явления конденсации и испарения воды существуют в процессах переноса тепла и влаги. Скорость конденсации на единицу площади поверхности волокна, покрытого конденсатом может быть выражена в следующем виде

$$\Gamma_{\text{п.кон.}} = -E_1 \sqrt{\frac{M}{2\pi R T_s}} (P_s - P_{\text{п}}), \quad (4.10)$$

где  $\Gamma_{\text{п.кон.}}$  - скорость конденсации на единицу площади поверхности волокна, покрытого конденсатом;  $M$  - молекулярная масса испаряющегося вещества;  $R$  - универсальная газовая постоянная, равная  $8,314471, \text{Дж}/^\circ\text{С моль}$ ;  $T_{\text{поверх.}}$  - температура поверхности жидкости на границе раздела фаз.

Поскольку  $Rh_f = P_{\text{п}}/P_s$  и коэффициент испарения Кнудсена,  $E_1$ , были заменены на так называемый «истинный» коэффициент испарения  $E$ , то

$$E_1 = \frac{2E}{2-E} \quad (4.11)$$

Из уравнений (4.10) и (4.11) получим

$$\Gamma_{\text{п.кон.}} = \frac{2EP_s}{2-E} \sqrt{\frac{M}{2\pi RT_{\text{поверх.}}}} (1 - Rhf) \quad (4.12)$$

Площадь поверхности волокна, покрытого конденсатом в контрольном объеме, используется, когда предполагается, что волокно имеет идеальную форму цилиндра, а отношение поверхности к объему составляет  $\frac{2\sqrt{(1-\varepsilon')(1-\varepsilon)}}{R_f}$  - пористость сухой волокнистой ваты без конденсата.

Скорость конденсации на единицу объема составляет

$$\Gamma_{\text{кон.}} = -\frac{4EP_s}{2-E} \frac{\sqrt{(1-\varepsilon')(1-\varepsilon)}}{R_f} \quad (4.13)$$

Следовательно, общая скорость накопления воды составляет

$$\Gamma = \Gamma_c + \Gamma_{\text{кон.}} \quad (4.14)$$

Генерация водяного пара

$$\Delta m_v = -\frac{\Gamma_c}{\varepsilon} - \frac{\Gamma_{\text{кон.}}}{\varepsilon} \quad (4.15)$$

Уравнение сохранения энергии Интегральное выражение баланса энергии было дано первым законом термодинамики. На основе сохранения тепловой энергии уравнение теплопередачи может быть записано следующим образом:

$$c_{\text{п}} \frac{\partial T}{\partial t} = \underbrace{-\varepsilon u c_{\text{па}} \nabla T}_{\text{конвективный}} + \underbrace{\lambda \nabla^2 T_{\text{п}}}_{\text{кондукция}} + \underbrace{\Delta F}_{\text{излучения}} + \underbrace{\kappa \Gamma}_{\text{Скрытая теплота}}, \quad (4.16)$$

где  $\lambda$  - эффективная теплопроводность ткани.

Эффективная теплопроводность пористых сред является функцией таких свойств, как пористость, содержание воды, степень насыщения, фазовое изменение воды. Поэтому слово «эффективный» относится к тому факту, что на величину теплопроводности влияют различные составляющие в твердой, жидкой и газовой фазах. Предыдущие исследования представляют собой разработку эффективной модели теплопроводности для моделирования термогидромеханических процессов в пористых средах. Эффективную теплопроводность волокнистых изоляционных материалов можно рассчитать по уравнению

$$\lambda = \eta_1 (1 - \varepsilon') \lambda_f + (1 - \eta_2) [1 - \eta_1 (1 - \varepsilon')]^2 \left[ \frac{(1 - \varepsilon')(1 - \eta_1)}{\lambda_f} + \frac{\varepsilon' S_r}{\lambda_w} + \frac{\varepsilon' (1 - S_r)}{\lambda_a} \right]^{-1} + \eta_2 [(1 - \varepsilon')(1 - \eta_2) \lambda_f + \varepsilon' S_r \lambda_w + \varepsilon' (1 - S_r) \lambda_a], \quad (4.17)$$

где  $\eta_1$  - коэффициент являющийся функцией пористости,  $\eta_1 = f(\varepsilon')$ . Коэффициент  $\eta_2$  является функцией пористости, насыщенности и температуры,  $\eta_2 = f(\varepsilon', S_r, T)$ . Для упрощения используется уравнение, приведенное ниже:

$$\lambda = (1 + \varepsilon - \varepsilon') [(1 - \varepsilon') \lambda_f + \varepsilon \lambda_a] + (\varepsilon' - \varepsilon) \lambda_w, \quad (4.18)$$

где  $\lambda_a$  - эффективная теплопроводность воздуха;  $\lambda_w$  - эффективная теплопроводность конденсата;  $\lambda_f$  - эффективная теплопроводность волокон.

Связь между  $\varepsilon$  и  $\varepsilon'$  может быть выражена в следующем виде

$$\varepsilon = \varepsilon' - \frac{\rho}{\rho_w} W (1 - \varepsilon') \quad (4.19)$$

$$\varepsilon' = \frac{\rho_w \varepsilon + \rho W}{\rho_w + \rho}, \quad (4.20)$$

где  $\rho_w$  - плотность жидкой воды или твердого льда;  $W$  - содержание воды в волокнистой ватине, которое определяется как вес воды, деленный на вес сухой волокнистой ватины, который может составлять более 100%.

Эффективная объемная теплоемкость волокна рассчитывается по формуле

$$c_{\Pi} = \varepsilon c_{\Pi a} + (1 + \varepsilon') c_{\Pi f} + (\varepsilon' - \varepsilon) c_{\Pi w} \quad (4.21)$$

где  $c_{\Pi a}$  - эффективная объемная теплоемкость воздуха;  $c_{\Pi f}$  - эффективная объемная теплоемкость волокон;  $c_{\Pi w}$  - эффективная объемная теплоемкость конденсатов.

Общее тепловое излучение  $F$  которое можно рассчитать по следующему уравнению

$$\nabla F = -(\nabla F_R - \nabla F_L) \quad (4.22)$$

где  $F_R$  - суммарное тепловое излучение, распространяющееся вправо;  $F_L$  - суммарное тепловое излучение, распространяющееся влево. Если рассеяние излучения на волокнах игнорируется, то:

$$\nabla F_R = -\beta F_R + \beta \sigma T^4 \quad (4.23)$$

$$\nabla F_L = -\beta F_L + \beta \sigma T^4, \quad (4.24)$$

где  $\beta$  - константа сорбции излучения волокон;  $\sigma$  - постоянная Больцмана, которая равна  $5,6705 \times 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{°C}^4 \text{ м}^2)$ ;  $T$  - температура;  $k$  - тепло, выделяемое или поглощаемое водой при изменении фазы при постоянной температуре. Для упрощения его можно рассчитать по следующей эмпирической функции  $k=f(T)$ .

*Граничные условия.* Поскольку проводящий теплообмен и перенос влаги на внутренней поверхности и внешней поверхности должны быть непрерывными, граничные условия в положении  $x$  ( $x=0$  или  $L$ ) и времени  $t$  составляют:

$$(1 - \zeta_{\text{вн.}}) F_L(0, t) + \zeta_{\text{вн.}} \sigma T^4(0, t) = F_R(0, t) \quad (4.25)$$

$$(1 - \zeta_{\text{вне.}}) F_L(0, t) + \zeta_{\text{вне.}} \sigma T^4(0, t) = F_R(0, t) \quad (4.26)$$

$$-\lambda(0, t) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = h_{\text{вн.}} [T_{\text{вн.}}(t) - T(0, t)] + \zeta_{\text{вн.}} \sigma [T^4(t) - T^4(0, t)] \quad (4.27)$$

$$-\lambda(L, t) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=L} = h_{\text{вне.}} [T(L, t) - T_{\text{вне.}}(t)] + \zeta_{\text{вне.}} \sigma [T^4(L, t) - T_{\text{вне.}}^4(t)] \quad (4.28)$$

$$-\frac{D_{\Pi}(0, t) \varepsilon}{\tau} \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x} \Big|_{x=0} = h_{m-\text{вн.}} [C_{\Pi-\text{вн.}}(t) - C_{\Pi}(0, t)] \quad (4.29)$$

$$-\frac{D_{\Pi}(L, t) \varepsilon}{\tau} \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x} \Big|_{x=L} = h_{m-\text{вне.}} [C_{\Pi}(L, t) - C_{\Pi-\text{вне.}}(t)], \quad (4.30)$$

где  $\zeta_{\text{вн.}}$  - излучательная способность поверхности внутреннего покрывающего кокона;  $\zeta_{\text{вне.}}$  - излучательная способность поверхности наружного (внешнего) покровного кокона;  $h_{\text{вн.}}$  - коэффициент конвективного теплового переноса внутри кокона;  $h_{\text{вне.}}$  - коэффициент конвективной теплопередачи наружного кокона;  $T_{\text{вне.}}$  - температура наружного кокона;  $T_{\text{вн.}}$  - температура внутри кокона;  $h_{m-\text{вн.}}$  - коэффициент конвективного массообмена внутри кокона;  $h_{m-\text{вне.}}$  - коэффициент конвективного массообмена наружного кокона;  $C_{\Pi-\text{вн.}}$  - концентрация водяного пара внутри кокона;  $C_{\Pi-\text{вне.}}$  - концентрация водяного пара наружного кокона.

## 4.2. Решение методом конечных объемов

Управляющее дифференциальное уравнение явления массопередачи показано в уравнении (4.31), которое будет дискретизировано в стационарных и переходных случаях.

$$\frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x} = -u \nabla C_{\Pi} + \frac{D_{\Pi}}{\tau} \nabla^2 C_{\Pi} + \Delta m_{\Pi} \quad (4.31)$$

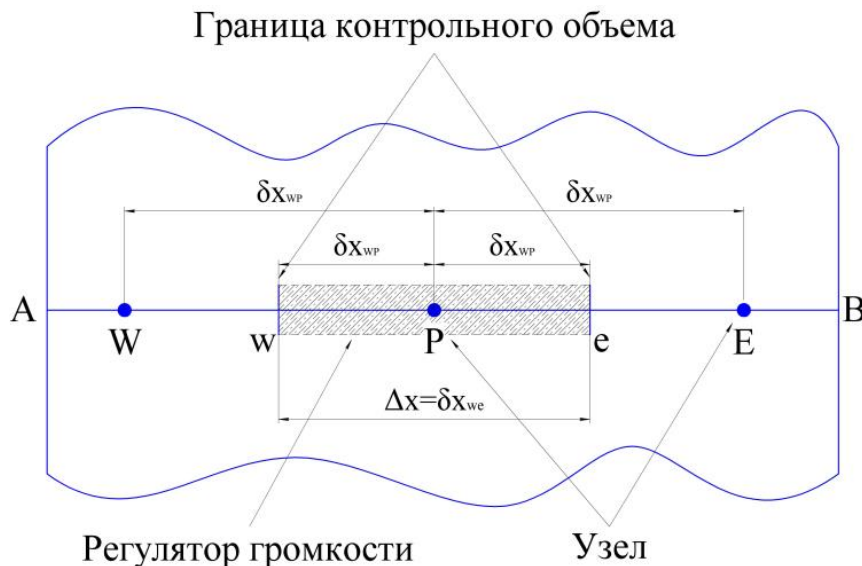
Устойчивое управляющее дифференциальное уравнение

$$-u \nabla C_{\Pi} + \frac{D_{\Pi}}{\tau} \nabla^2 C_{\Pi} + \Delta m_{\Pi} = 0 \quad (4.32)$$

Для одномерного случая уравнение (4.28) может быть дополнительно упрощено

$$-u \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x} + \frac{D_{\Pi}}{\tau} \frac{\partial^2 C_{\Pi}}{\partial x^2} + \Delta m_{\Pi} = 0 \quad (4.33)$$

Для решения уравнения область решения делится на дискретный контрольный объем, как показано на рисунке 4.3. Область решений A-B разделена на пять контрольных разделов. Граница области является внешней границей контрольного объема. Один узел расположен в центре каждого контрольного объема.



**Рис. 4.3. Контрольный объем и определение размера сетки для одномерной системы**

Размер ячейки контрольного объема, выраженный случайным промежуточным узлом, определяется как «P». Смежный узел на западной стороне - это «W», соседний узел на восточной стороне - это «E», расстояние между «W» и «P» - это  $\delta x_{WP}$ , расстояние между «P» и «E» - это  $\delta x_{PE}$ ; западная боковая граница в контрольном объеме «P» - это «w», восточная боковая граница - «e», длина контрольного объема -  $\delta x_{we}$ .

Дискретность уравнения достигается интегралом в контрольном объеме. Проводится этот интеграл для уравнения в контрольном объеме, а затем используется теорема Гаусса о расходимости:

$$-\int_{\Delta V} u \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x} dV + \int_{\Delta V} \frac{D_{\Pi}}{\tau} \frac{\partial^2 C_{\Pi}}{\partial x^2} dV + \int_{\Delta V} \Delta m_{\Pi} dV = -\oint_A n \cdot (uC_{\Pi}) dA +$$

$$\oint_A n \cdot \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \frac{\partial^2 C_{\Pi}}{\partial x} \right) dA + \oint_{\Delta V} \Delta m_{\Pi} dV = - [(uAC_{\Pi})_e - (uAC_{\Pi})_w] + \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \frac{\partial^2 C_{\Pi}}{\partial x} \right)_e - \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \frac{\partial^2 C_{\Pi}}{\partial x} \right)_w + \overline{\Delta m_{\Pi}} \Delta V = 0, \quad (4.34)$$

где  $A$  - площадь поверхности контрольного объема (интегральное направление);  $\Delta V$  - контрольный объем;  $\Delta m_{\Pi}$  - среднее значение образования водяного пара в контрольном объеме. Незвестные переменные на границе контрольного объема, такие как  $D_{\Pi e}, D_{\Pi w}, D_{\Pi e}, D_{\Pi w}, \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x}|_e, \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x}|_w$ , должны использоваться в следующем расчете. Эти значения могут быть рассчитаны на основе интерполяции значений в соседних узлах, где применяется линейная интерполяция. В единой сеточной системе:

$$D_{\Pi e} = \frac{1}{2} (D_{\Pi P} + D_{\Pi E}) \quad (4.35)$$

$$D_{\Pi w} = \frac{1}{2} (D_{\Pi W} + D_{\Pi P}) \quad (4.36)$$

$$D_{\Pi e} = \frac{1}{2} (D_{\Pi E} + D_{\Pi P}) \quad (4.37)$$

$$D_{\Pi} = \frac{1}{2} (D_{\Pi P} + D_{\Pi W}) \quad (4.38)$$

$$\frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x}|_e \approx \frac{\Delta C_{\Pi}}{\Delta x}|_e = \frac{C_{\Pi E} - C_{\Pi P}}{\delta x_{PE}} \quad (4.39)$$

$$\frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x}|_w \approx \frac{\Delta C_{\Pi}}{\Delta x}|_w = \frac{C_{\Pi P} - C_{\Pi W}}{\delta x_{WP}} \quad (4.40)$$

$\Delta m_{\Pi}$  обрабатывается как исходный термин, который может быть постоянным или как функция переменной. Исходный член обычно линейно обрабатывается методом конечного объема,

$$\overline{\Delta m_{\Pi}} \Delta V = S_u + S_p S_{\Pi P} \quad (4.41)$$

Подстановка уравнений (4.35, 4.36, 4.37, 4.38, 4.39, 4.40, 4.41) в уравнение (4.34) приводит к следующему

$$\frac{1}{2} u_e A_e (C_{\Pi E} + C_{\Pi P}) - \frac{1}{2} u_w A_w (C_{\Pi P} + C_{\Pi W}) = \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_e A_e \left( \frac{C_{\Pi E} - C_{\Pi P}}{\delta x_{PE}} \right) - \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_w A_w \left( \frac{C_{\Pi P} - C_{\Pi W}}{\delta x_{WP}} \right) + (S_u + S_p C_{\Pi P}) \quad (4.42)$$

Уравнение (4.42) переупорядочено на основе переменных в узлах «P», «W» и «E»

$$\left[ \frac{1}{2} u_e A_e - \frac{1}{2} u_w A_w + \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_e \frac{A_e}{\delta x_{PE}} + \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_w - S_p \right] C_{\Pi P} = \left[ \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_w \frac{A_w}{\delta x_{WP}} + \frac{1}{2} u_w A_w \right] C_{\Pi W} + \left[ \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_e \frac{A_e}{\delta x_{PE}} - \frac{1}{2} u_e A_e \right] C_{\Pi E} + S_u \quad (4.43)$$

После нормализации уравнение (4.43) преобразуется в

$$a_P C_{\Pi P} = a_W C_{\Pi W} + a_E C_{\Pi E} + S_u \quad (4.44)$$

где

$$a_W = \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_w \frac{A_w}{\delta x_{WP}} + \frac{1}{2} u_w A_w$$

$$a_E = \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_e \frac{A_e}{\delta x_{PE}} - \frac{1}{2} u_e A_e$$

$$a_P = a_W + a_E + u_e A_e - u_w A_w - S_u$$

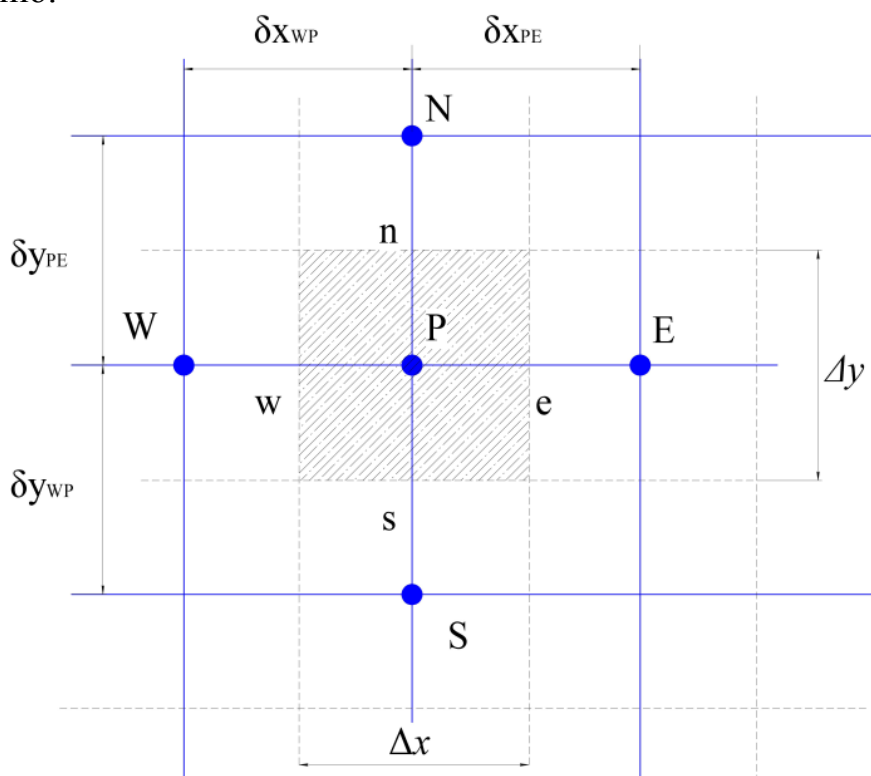
Уравнение (4.44) является уравнением дискретизации одномерного стационарного уравнения сохранения массы, которое можно получить в каждом узле. Решение уравнений показывает распределение массы вещества в вычислительной области.

Этот одномерный метод решения может быть обобщен в двумерной задаче. Двумерное стационарное дифференциальное уравнение

$$\left[ \frac{\partial}{\partial x} (u_x C_{\Pi}) + \frac{\partial}{\partial y} (u_y C_{\Pi}) \right] = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_x \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_y \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial y} \right] + \Delta m_{\Pi} \quad (4.45)$$

$\left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_x$  и  $\left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_y$  может быть таким же или нет. Для упрощения предполагается, что  $\left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_x = \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_y = \frac{D_{\Pi}}{\tau}$ ,  $\Delta m_{\Pi}$  рассматривается как исходный термин.

Рисунке 4.4 является частью системы построения сетки для этой двумерной задачи. Теневая область - это контрольная громкость узла «P». В отличие от одномерной проблемы, помимо соседнего узла «W» с западной стороны и соседнего узла «E» с восточной стороны, есть соседний узел «N» с северной стороны и соседний узел «S» с южной стороны для узла «P». Расстояние между «P» и «W» в направлении x равно  $\delta x_{WP}$ ; расстояние между «P» и «E» в направлении x равно  $\delta x_{PE}$ ; расстояние между «P» и «N» в направлении y равно  $\delta y_{PN}$ ; расстояние между «P» и «S» в направлении y равно  $\delta y_{SP}$ . «w», «e», «n» и «s» находятся в середине W-P, P-E, N-P, PS, соответственно.



**Рис. 4.4. Контрольный объем и определение размера сетки для двумерной системы**

Основываясь на методе конечного объема, уравнение (4.45) рассматривается как интеграл в контрольном объеме.

$$\int_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial x} (u_x C_{\Pi}) dV + \int_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial y} (u_y C_{\Pi}) dV = \int_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} A \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x} \right) dV + \int_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} A \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial y} \right) dV + \int_{\Delta V} \Delta m_{\Pi} dV \quad (4.46)$$

Основываясь на теореме Гаусса о расходимости:

$$[(u_x C_{\Pi} A)_e - (u_x C_{\Pi} A)_w] + [(u_x C_{\Pi} A)_n - (u_x C_{\Pi} A)_s] = \left[ \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} A \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x} \right)_e - \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} A \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x} \right)_w \right] + \left[ \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} A \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x} \right)_n - \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} A \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x} \right)_s \right] + \overline{\Delta m_{\Pi}} \Delta V \quad (4.47)$$

Из рисунка 4.4 можно сделать вывод, что  $A_e = A_w = \Delta y$ ,  $A_n = A_s = \Delta x$ . Уравнение (4.47) показывает отношение равновесия переменной поля  $C_{\Pi}$  в контрольном объеме. Переменная поля и ее производная, передаваемая через границу контрольного объема, также могут быть вычислены из линейной интерполяции значений в соседних узлах.

Конвекционный поток через границу восточной стороны

$$(u_x C_{\Pi} A)_e = \frac{1}{2} (u_{xe} A_e (C_{\Pi E} + C_{\Pi P})) \quad (4.48)$$

Диффузионный поток через восточную боковую границу

$$\left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} A \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x} \right)_e = \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_e A_e \frac{C_{\Pi E} - C_{\Pi P}}{\delta x_{PE}} \quad (4.49)$$

Конвекционный поток через западную сторону границы

$$(u_x C_{\Pi} A)_w = \frac{1}{2} u_{xe} A_w (C_{\Pi P} + C_{\Pi W}) \quad (4.50)$$

Диффузионный поток через западную сторону границы

$$\left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} A \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial x} \right)_w = \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_w A_w \frac{C_{\Pi P} - C_{\Pi W}}{\delta x_{WP}} \quad (4.51)$$

Конвекционный поток через северную боковую границу

$$(u_y C_{\Pi} A)_n = \frac{1}{2} u_{yn} A_n (C_{\Pi N} + C_{\Pi P}) \quad (4.52)$$

Диффузионный поток через северную боковую границу

$$\left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} A \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial y} \right)_n = \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_n A_n \frac{C_{\Pi N} - C_{\Pi P}}{\delta x_{PN}} \quad (4.53)$$

Конвекционный поток через южную боковую границу

$$(u_y C_{\Pi} A)_s = \frac{1}{2} u_{ys} A_s (C_{\Pi P} + C_{\Pi S}) \quad (4.54)$$

Диффузионный поток через южную боковую границу

$$\left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} A \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial y} \right)_s = \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_s A_s \frac{C_{\Pi P} - C_{\Pi S}}{\delta x_{SP}} \quad (4.55)$$

Исходный термин линейно обрабатывается

$$\overline{\Delta m_{\Pi}} \Delta V = S_u + S_p C_{\Pi P} \quad (4.56)$$

Подстановка уравнений (4.48, 4.49, 4.50, 4.51, 4.52, 4.53, 4.54, 4.55, 4.56) в уравнение (4.47) приводит к следующему

$$\left[ \frac{1}{2} u_{xe} A_e (C_{\Pi E} + C_{\Pi P}) - \frac{1}{2} u_{xw} A_w (C_{\Pi P} + C_{\Pi W}) \right] + \left[ \frac{1}{2} u_{yn} A_n (C_{\Pi N} + C_{\Pi P}) - \frac{1}{2} u_{ys} A_s (C_{\Pi P} + C_{\Pi S}) \right] = \left[ \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_e A_e \left( \frac{C_{\Pi E} - C_{\Pi P}}{\delta x_{PE}} \right) - \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_w A_w \left( \frac{C_{\Pi P} - C_{\Pi W}}{\delta x_{WP}} \right) \right] + \left[ \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_n A_n \left( \frac{C_{\Pi N} - C_{\Pi P}}{\delta x_{PN}} \right) - \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_s A_s \left( \frac{C_{\Pi P} - C_{\Pi S}}{\delta x_{SP}} \right) \right] + S_u + S_p C_{\Pi P} \quad (4.57)$$

Уравнение (4.57) переупорядочено на основе переменных поля в узлах

$$\left[ \frac{1}{2} u_{xe} A_e - \frac{1}{2} u_{xw} A_w + \frac{1}{2} u_{yn} A_n + \frac{1}{2} u_{ys} A_s + \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_e \frac{A}{\delta x_{PE}} + \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_w \frac{A_w}{\delta x_{WP}} + \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_n \frac{A_n}{\delta x_{PN}} + \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_s \frac{A_s}{\delta x_{SP}} - S_p \right] C_{\Pi P} = \left[ \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_w \frac{A_w}{\delta x_{WP}} + \frac{1}{2} u_{xw} A_w \right] C_{\Pi W} + \left[ \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_e \frac{A}{\delta x_{PE}} - \frac{1}{2} u_{xe} A_e \right] C_{\Pi E} + \left[ \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_s \frac{A_s}{\delta x_{SP}} + \frac{1}{2} u_{ys} A_s \right] C_{\Pi S} + \left[ \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_n \frac{A_n}{\delta x_{PN}} - \frac{1}{2} u_{yn} A_n \right] C_{\Pi N} \quad (4.58)$$

После нормализации уравнение (4.58) преобразуется в

$$a_P C_{\Pi P} = a_W C_{\Pi W} + a_E C_{\Pi E} + a_S C_{\Pi S} + a_N C_{\Pi N} + S_u \quad (4.59)$$

где

$$a_W = \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_w \frac{A_w}{\delta x_{WP}} + \frac{1}{2} u_{xw} A_w$$

$$a_E = \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_e \frac{A}{\delta x_{PE}} - \frac{1}{2} u_{xe} A_e$$

$$a_S = \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_s \frac{A_s}{\delta x_{SP}} - \frac{1}{2} u_{ys} A_s$$

$$a_P = a_W + a_E + a_S + a_N - u_{xw} A_w + u_{xe} A_e + u_{ys} A_s + u_{yn} A_n - S_p$$

Уравнение (4.59) является уравнением дискретизации двумерного стационарного уравнения сохранения массы, которое можно получить в каждом узле. Для дискретизации трехмерной системы может быть применен аналогичный метод.

*Переходный случай.* В реальном потоке текущее состояние меняется в основном со временем. Управляющее уравнение для явления массопереноса показано в уравнении (4.3)

$$\frac{\partial C_{\Pi}}{\partial t} = -u \nabla C_{\Pi} + \frac{D_{\Pi}}{\tau} \nabla^2 C_{\Pi} + \Delta m_{\Pi} \quad (4.60)$$

После интегрирования в контрольный объем методом конечных объемов это контрольное уравнение должно быть интегральным в определенный интервал времени  $\Delta t$ . Это означает, что  $C_{\Pi}$  сохраняется как в контрольном объеме, так и в определенном интервале времени. Интеграл можно записать в виде

$$\int_t^{t+\Delta t} \left( \int_{\Delta V} \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial t} dV \right) dt + \int_t^{t+\Delta t} \left( \int_{\Delta V} u \nabla C_{\Pi} \right) dt = \int_t^{t+\Delta t} \left( \int_{\Delta V} \frac{D_{\Pi}}{\tau} \nabla^2 C_{\Pi} dV \right) dt + \int_t^{t+\Delta t} \left( \int_{\Delta V} \Delta m_{\Pi} dV \right) dt \quad (4.61)$$

На основании теоремы Гаусса о расходимости интеграл по объему конвекционного члена и диффузионный член преобразуются в поверхностный интеграл в контрольном объеме. И затем, порядок интеграла по времени и объему по первому члену (временному члену) обменивается:

$$\int_{\Delta V} \left( \int_t^{t+\Delta t} \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial t} dt \right) dV + \int_t^{t+\Delta t} \left[ \oint_A n \cdot (u \nabla C_{\Pi}) dA \right] dt = \int_t^{t+\Delta t} \left[ \oint_A n \cdot \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \nabla C_{\Pi} \right) dA \right] dt + \int_t^{t+\Delta t} \left( \int_{\Delta V} \Delta m_{\Pi} dV \right) dt \quad (4.62)$$

Интеграл по объему конвекционного члена, диффузионного члена и исходного члена показан в начале раздела. Интеграл времени обрабатывается, как показано ниже.

Для одномерного случая уравнение (4.3) может быть дополнительно упрощено

$$\frac{\partial c_{\text{п}}}{\partial t} = -u \frac{\partial c_{\text{п}}}{\partial x} + \frac{D_{\text{п}}}{\tau} \frac{\partial^2 c_{\text{п}}}{\partial x^2} + \Delta m_{\text{п}} \quad (4.63)$$

С учетом одномерного контрольного объема, показанного на рисунке 4.3, в интервале времени между  $(t+\Delta t)$ , уравнение (4.63) является неотъемлемой частью контрольного объема.

$$\int_t^{t+\Delta t} \left( \int_{\Delta V} \frac{\partial c_{\text{п}}}{\partial t} dV \right) dt + \int_t^{t+\Delta t} \left( \int_{\Delta V} u \frac{\partial c_{\text{п}}}{\partial x} dV \right) dt = \int_t^{t+\Delta t} \left[ \int_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{D_{\text{п}}}{\tau} \frac{\partial c_{\text{п}}}{\partial x} \right) dV \right] dt + \int_t^{t+\Delta t} \left( \int_{\Delta V} \Delta m_{\text{п}} dV \right) dt \quad (4.64)$$

На основании теоремы Гаусса о расходимости уравнение (4.64) можно записать в виде

$$\int_{\Delta V} \left( \int_t^{t+\Delta t} \frac{\partial c_{\text{п}}}{\partial t} dt \right) dV + \int_t^{t+\Delta t} [(u \nabla C_{\text{п}})_e - (u \nabla C_{\text{п}})_w] dt = \int_t^{t+\Delta t} \left[ \left( \frac{D_{\text{п}}}{\tau} A \frac{\partial c_{\text{п}}}{\partial x} \right)_e - \left( \frac{D_{\text{п}}}{\tau} A \frac{\partial c_{\text{п}}}{\partial x} \right)_w \right] dt + \int_t^{t+\Delta t} \overline{\Delta m_{\text{п}}} \Delta V dt \quad (4.65)$$

где  $A$  - площадь поверхности контрольного объема;  $\Delta V$  - объем контрольного объема,  $\Delta V = A \Delta x$ ,  $\Delta x$  - длина контрольного объема  $\delta x_{we}$ ;  $\overline{\Delta m_{\text{п}}}$  - среднее значение водяных паров, образующихся в контрольном объеме.

Если  $\frac{\partial c_{\text{п}}}{\partial t} \approx \frac{c_{\text{п}P}^{t+\Delta t} - c_{\text{п}P}^t}{\Delta t}$  - концентрация водяного пара в местоположении  $P$  в момент времени  $t$ ,  $c_{\text{п}P}^t$  - это концентрация водяного пара в месте  $P$  в момент времени  $t+\Delta t$ .

Первый член в левой части уравнения (4.65) можно записать в виде:

$$\int_{\Delta V} \left( \int_t^{t+\Delta t} \frac{\partial c_{\text{п}}}{\partial t} dt \right) dV \approx \int_{\Delta V} \left( \int_t^{t+\Delta t} \frac{c_{\text{п}P}^{t+\Delta t} - c_{\text{п}P}^t}{\Delta t} dt \right) dV = (c_{\text{п}P}^{t+\Delta t} - c_{\text{п}P}^t) \Delta V \quad (4.66)$$

Фактически, аппроксимация концентрации водяного пара на частной производной по времени представляет собой разность первого порядка (назад), которая также может быть учтена разностью высокого порядка. Если в численном расчете конвективных и диффузионных членов в уравнении (4.65) в сочетании с уравнением (4.66) применяется уравнение (4.67), оно может быть преобразовано в:

$$(c_{\text{п}P}^{t+\Delta t} - c_{\text{п}P}^t) \Delta V = - \int_t^{t+\Delta t} \left[ \frac{1}{2} u_e A_e (C_{\text{п}E} + C_{\text{п}P}) - \frac{1}{2} u_w A_w (C_{\text{п}P} + C_{\text{п}W}) \right] dt + \int_t^{t+\Delta t} \left[ \left( \frac{D_{\text{п}}}{\tau} \right)_e A_e \frac{C_{\text{п}E} - C_{\text{п}P}}{\delta x_{PE}} - \left( \frac{D_{\text{п}}}{\tau} \right)_w A_w \frac{C_{\text{п}P} - C_{\text{п}W}}{\delta x_{WP}} \right] dt + \int_t^{t+\Delta t} \overline{\Delta m_{\text{п}}} \Delta V dt \quad (4.67)$$

Чтобы вычислить интеграл по времени конвективных и диффузионных членов на правой стороне, соотношение между концентрацией водяного пара в узле  $C_{\text{п}W}$ ,  $C_{\text{п}P}$ ,  $C_{\text{п}E}$  и временем  $t$  должно быть четким, где используется средневзвешенная концентрация водяного пара в  $\Delta t$ .

Средневзвешенная концентрация водяного пара  $\overline{C_{\text{п}P}}$  между  $t$  и  $t + \Delta t$  должна рассчитываться как

$$\overline{C_{\text{п}P}} = \theta C_{\text{п}P}^{t+\Delta t} + (1 - \theta) C_{\text{п}P}^t \quad (4.68)$$

где весовой коэффициент  $\theta = \theta \sim 1$ , то интеграл по времени  $I_{C_{\text{п}}}$  может быть записан как

$$I_{\Pi} = \int_t^{t+\Delta t} C_{\Pi P} dt = \int_t^{t+\Delta t} \overline{C_{\Pi P}} dt = [\theta C_{\Pi P}^{t+\Delta t} + (1-\theta)C_{\Pi P}^t] \Delta t \quad (4.69)$$

$\theta = 0$  означает, что  $C_{\Pi P}^t$  в момент времени  $t$  считается средней концентрацией водяного пара;  $\theta = 1$  означает, что  $C_{\Pi P}^{t+\Delta t}$  в момент времени  $t+\Delta t$  считается средней концентрацией водяного пара;  $\theta = 1/2$  означает, что концентрации водяного пара в моменты времени  $t$  и  $t+\Delta t$  имеют одинаковый вес.  $I_{C_{\Pi}}$  эти три условия показаны ниже:

$$\theta = 0, I_{C_{\Pi}} = C_{\Pi P}^t \Delta t$$

$$\text{когда } \theta = \frac{1}{2}, I_{C_{\Pi}} = \frac{1}{2} (C_{\Pi P}^{t+\Delta t} + C_{\Pi P}^t) \Delta t$$

$$\text{когда } \theta = 1, I_{C_{\Pi}} = C_{\Pi P}^{t+\Delta t} \Delta t$$

Точно так же интеграл времени  $C_{\Pi W}$  и  $C_{\Pi E}$  может быть легко получен. Объединяя уравнения (4.67) и (4.69) получим

$$\begin{aligned} (\theta C_{\Pi P}^{t+\Delta t} - C_{\Pi P}^t) \Delta V = & -\frac{1}{2} \{ u_e A_e [\theta (C_{\Pi P}^{t+\Delta t} + C_{\Pi E}^{t+\Delta t}) + (1-\theta)(C_{\Pi P}^t + C_{\Pi E}^t)] - \\ u_w A_w [\theta (C_{\Pi W}^{t+\Delta t} + C_{\Pi P}^{t+\Delta t}) + (1-\theta)(C_{\Pi W}^t + C_{\Pi P}^t)] \} \cdot \Delta t + & \left\{ \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_e A_e \left[ \theta \frac{C_{\Pi E}^{t+\Delta t} - C_{\Pi P}^{t+\Delta t}}{\delta x_{PE}} + \right. \right. \\ (1-\theta) \frac{C_{\Pi E}^t - C_{\Pi P}^t}{\delta x_{PE}} \Big] - \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_w A_{we} \left[ \theta \frac{C_{\Pi P}^{t+\Delta t} - C_{\Pi W}^{t+\Delta t}}{\delta x_{WP}} + (1-\theta) \frac{C_{\Pi P}^t - C_{\Pi W}^t}{\delta x_{WP}} \right] \Big\} \cdot \Delta t + & \overline{\Delta m_{\Pi}} \Delta V \Delta t \end{aligned} \quad (4.70)$$

Каждый член делится на  $\Delta t$ , затем

$$\begin{aligned} (C_{\Pi P}^{t+\Delta t} - C_{\Pi P}^t) \frac{\Delta V}{\Delta t} = & -\frac{1}{2} \{ u_e A_e [\theta (C_{\Pi P}^{t+\Delta t} + C_{\Pi E}^{t+\Delta t}) + (1-\theta)(C_{\Pi P}^t + C_{\Pi E}^t)] \\ - u_w A_w [\theta (C_{\Pi W}^{t+\Delta t} + C_{\Pi P}^{t+\Delta t}) + (1-\theta)(C_{\Pi W}^t + C_{\Pi P}^t)] \} & + \left\{ \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_e A_e \left[ \theta \frac{C_{\Pi E}^{t+\Delta t} - C_{\Pi P}^{t+\Delta t}}{\delta x_{PE}} + (1-\theta) \frac{C_{\Pi E}^t - C_{\Pi P}^t}{\delta x_{PE}} \right] \right. \\ - \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_w A_{we} \left[ \theta \frac{C_{\Pi P}^{t+\Delta t} - C_{\Pi W}^{t+\Delta t}}{\delta x_{WP}} + (1-\theta) \frac{C_{\Pi P}^t - C_{\Pi W}^t}{\delta x_{WP}} \right] \Big\} + & \overline{\Delta m_{\Pi}} \Delta V \Delta t \end{aligned} \quad (4.71)$$

Уравнение (4.71) переупорядочено на основе концентрации водяного пара в узлах «P», «W» и «E»,

$$\begin{aligned} C_{\Pi P}^{t+\Delta t} = \left[ \frac{\Delta V}{\Delta t} + \frac{1}{2} u_e A_e \theta - \frac{1}{2} u_w A_w \theta + \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_e \frac{A_e \theta}{\delta x_{PE}} + \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_w \frac{A_w \theta}{\delta x_{WP}} \right] = C_{\Pi P}^t \left[ \frac{\Delta V}{\Delta t} - \right. \\ \left. \frac{1}{2} u_e A_e (1-\theta) + \frac{1}{2} u_w A_w (1-\theta) - \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_e \frac{A_e (1-\theta)}{\delta x_{PE}} - \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_w \frac{A_w (1-\theta)}{\delta x_{WP}} \right] + A_e [\theta C_{\Pi W}^{t+\Delta t} + \\ (1-\theta) C_{\Pi E}^t] \left[ \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_w \frac{1}{\delta x_{WP}} + \frac{1}{2} u_w \right] + \overline{\Delta m_{\Pi}} \Delta V \end{aligned} \quad (4.72)$$

После нормализации уравнение (4.72) преобразуется в

$$\begin{aligned} a_P^{t+\Delta t} C_{\Pi P}^{t+\Delta t} = [a_P^t - (1-\theta)(a_E' + a_W')] C_{\Pi P}^t + a_E [\theta C_{\Pi E}^{t+\Delta t} + (1-\theta) C_{\Pi E}^t] + \\ a_W [\theta C_{\Pi W}^{t+\Delta t} + (1-\theta) C_{\Pi W}^t] + b, \end{aligned} \quad (4.73)$$

здесь

$$a_E = \left( \frac{D_{\Pi}}{\tau} \right)_e \frac{A_e \theta}{\delta x_{PE}} - \frac{1}{2} u_e A_e$$

$$\begin{aligned}
a_W &= \left(\frac{D_{II}}{\tau}\right)_w \frac{A_w \theta}{\delta x_{WP}} - \frac{1}{2} u_w A_e \\
a'_E &= \left(\frac{D_{II}}{\tau}\right)_e \frac{A_e \theta}{\delta x_{PE}} + \frac{1}{2} u_e A_e \\
a'_W &= \left(\frac{D_{II}}{\tau}\right)_w \frac{A_w \theta}{\delta x_{WP}} - \frac{1}{2} u_w A_w \\
a_P^t &= \frac{\Delta V}{\Delta t} \\
a_P^{t+\Delta t} &= a_P^t + \theta(a'_E + a'_W) \\
b &= \overline{\Delta m_{II}} \Delta V
\end{aligned}$$

Конкретная форма уравнения дискретизации зависит от значения весового коэффициента  $\theta$ . Следующие замечания

$\theta = 0$  приводит к полностью явной схеме;

$\theta = 1/2$  результатов в схеме Кранка-Николсона (К-Н);

$\theta = 1$  приводит к полностью неявной схеме.

Для полностью явной схемы исходный член  $b$  обрабатывается линейной обработкой,  $b = S_p C_{II}^t$  и  $\theta = 0$ , уравнение (4.73) изменяется на:

$$a_P^{t+\Delta t} C_{II}^{t+\Delta t} = [a_P^t - (a'_E + a'_W - S_p)] C_{II}^t + a_E C_{IE}^t + a_W C_{IW}^t + S_u \quad (4.74)$$

здесь  $a_P^{t+\Delta t} = a_P^t = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ .

Только температуры в предыдущий раз существуют в правой части уравнения (4.74), которое называется аппроксимацией по времени назад.

Для схемы Кранка-Николсона исходный член  $b$  рассматривается с помощью линейной обработки:  $= S_u + \frac{S_p C_{II}^t}{2}$  и  $\theta = \frac{1}{2}$ , поэтому уравнение (4.73) можно изменить на:

$$a_P^{t+\Delta t} C_{II}^{t+\Delta t} = \left[ a_P^t - \frac{1}{2} (a'_E + a'_W - S_p) \right] C_{II}^t + a_E \left( \frac{C_{IE}^{t+\Delta t} + C_{IE}^t}{2} \right) + a_W \left( \frac{C_{IW}^{t+\Delta t} + C_{IW}^t}{2} \right) + S_u \quad (4.75)$$

По сути, К-Н схема является центральной разницей во времени. Точность расчета схемы К-Н может достигать отклонения второго порядка, которое выше, чем у полностью явной схемы.

Для полностью неявной схемы исходный член  $b$  обрабатывается линейной обработкой,  $b = S_u + C_{II}^{t+\Delta t}$  и  $\theta = 1$ , тогда уравнение (4.73) можно изменить на:

$$a_P^{t+\Delta t} C_{II}^{t+\Delta t} = a_P^t C_{II}^t + a_E C_{IE}^{t+\Delta t} + a_W C_{IW}^{t+\Delta t} + S_u \quad (4.76)$$

где  $a_P^{t+\Delta t} = a_P^t + a'_E + a'_W - S_p$

Концентрация водяного пара в момент времени  $t + \Delta t$  появляется с обеих сторон уравнения (4.76); поэтому начальное распределение концентрации водяного пара  $C_{II}^t$  должно быть ясным до решения. Точность вычисления полностью неявной схемы - только отклонение первого порядка; для обеспечения точности шаг по времени должен быть меньше. Благодаря хорошей устойчивости и сходимости, полностью неявная схема широко используется при решении нестационарных задач.

### 4.3. Физические параметры шелковых волокон

Кокон состоит из шелка фиброина, серицина и жидкой воды. Жидкая вода не учитывается при расчете этих трех параметров [267]. Для кокона *Bombyx mori* фиброин шелка составляет более 70% шелка [272]. Для простоты в численном расчете шелк содержит 75% фиброина шелка и 25% серицина. Определено, что фиброин шелка и серицин тесно связаны между собой, и между ними нет воздуха.

**Плотность.** Чистая плотность фиброина шелка составляет  $1350 \text{ кг/м}^3$  [380]. Плотность серицина составляет  $1383 \text{ кг/м}^3$  [381]. В результате плотность шелка была рассчитана как

$$\rho_{\text{шелк-}B.mori} = \left( \frac{0,75}{\rho_{\text{фиброн}}} \frac{0,25}{\rho_{\text{серицин}}} \right)^{-1} \quad (4.77)$$

Где  $\rho_{\text{шелк-}B.mori}$  - плотность шелкового волокна *Bombyx mori*;  $\rho_{\text{фиброн}}$  - плотность фиброина шелка;  $\rho_{\text{серицин}}$  - плотность серицина.

Результирующее уравнение (4.77),  $1358 \text{ кг/м}^3$ , использован для определения плотности шелка *Bombyx mori*. В качестве плотности минеральных кристаллов использовали плотность оксалата кальция  $2120 \text{ кг/м}^3$  [382].

**Теплоемкость.** Теплоемкость фиброина шелка была рассчитана по следующему уравнению из ссылки [383]:

$$C_p = 134 + 3,696T \quad (4.78)$$

когда  $T$  равно  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ , теплоемкость фиброина шелка составляет  $1243 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ . Поскольку фиброин шелка является основным компонентом шелка, теплоемкость фиброина шелка использовалась в качестве теплоемкости шелка. Теплоемкость минеральных кристаллов составляет  $1043 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$  [384].

**Теплопроводность.** Теплопроводность шелкового волокна вдоль направления стенки кокона связана с положением шелковых волокон. Поэтому в модели теплопроводность поперечного сечения шелковых волокон составляет от  $0,8302 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$  до  $0,1557 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$  [266]. В настоящей работе теплопроводность шелковых волокон рассчитывается по следующей методике.

На эффективную теплопроводность  $\lambda(x, t)$  пористой среды влияют ее составляющие в твердой, жидкой и газовой фазах, и поэтому она является функцией многих параметров, таких как пористость, содержание воды, степень насыщения, фазовое изменение воды. Разработана эффективная модель теплопроводности для моделирования термогидромеханических процессов в пористых средах. Их расчет приведен ниже:

$$\lambda_{s-g} = \eta_1(1 - \varepsilon)\lambda_s + \eta_1\varepsilon\lambda_g + (1 - \eta_1)\lambda_s\lambda_g/(\varepsilon\lambda_s + (1 - \varepsilon)\lambda_g) \quad (4.79)$$

где  $\eta_1$  - коэффициент, зависящий от структуры пор в твердофазной смеси и может быть рассчитан как  $\eta_1 = 0,0692\varepsilon^{-0,7831}$ ;  $\lambda_{s-g}$  теплопроводность композиционного материала;  $\lambda_s$ -теплопроводность шелка;  $\lambda_g$ -теплопроводность воздуха.

Результаты измерения теплопроводности коконов *Bombyx mori* приведены в литературе [274]. Поскольку теплопроводность изменяется по

температуре, для моделирования использовались средние значения, то есть  $0,035 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  для кокона. Значения взяты для коконов, являющихся композитным материалом. При температуре воздуха, равной  $293\text{К}$ , его давление составляет  $101325 \text{ Па}$ , а теплопроводность  $0,0265 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  [385].

Следовательно, теплопроводность шелка можно рассчитать аналогичным образом по уравнению (4.79), где были использованы значения  $0,28 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  для шелковых волокон *Bombyx mori*.

#### **4.4. Исследование вибрационного числа на основе эффективной диффузии влаги и ее влияния на удельное энергопотребление**

Использование вибрационной сушилки с ИК-нагревом является альтернативой для выполнения сушки с меньшим удельным потреблением энергии по сравнению со стационарными ИК-сушилками. В настоящем исследовании эффективность вибрационной сушилки с ИК-нагревом исследована путем сопоставления кинетики сушки сырья с удельным энергопотреблением для получения оптимальных условий сушки [386-388].

Исследования проведены при различных условиях эксплуатации и выбраны три комбинации амплитуды колебаний  $A$  и частоты  $F$  для получения постоянного значения безразмерного вибрационного числа  $B$ . Влияние рабочих параметров проанализировано при эффективной диффузии влаги ( $D_{эфф.}$ ), оцененной путем подгонки диффузионной модели к экспериментальным данным. Обнаружено, что вибрация усиливает  $D_{эфф.}$  и является преобладающим эффектом в массообмене. Различные значения  $D_{эфф.}$  найдены для одного и того же  $B$ , полученного при проверенных комбинациях  $A$  и  $F$ , что указывает на то, что этот параметр не может использоваться отдельно в качестве единственного дескриптора энергии вибрации [389-391].

В данном разделе описано исследование кинетики сушки путем различных комбинаций параметров вибрации и условий сушки для получения эффективных коэффициентов диффузии влаги на основе экспериментальных данных и корреляций. Необходимо проанализировать «универсальность»  $B$ , полученная из различных комбинаций  $A$  и  $F$ , и ее влияние на  $D_{эфф.}$ . Также необходимо получить удельное потребление энергии для различных условий эксплуатации, для определения оптимальных энергетических характеристик [392-393].

С вибрационными ИК-сушилками были достигнуты более высокая эффективная диффузия влаги ( $D_{эфф.}$ ) и более низкая энергия активации ( $E_a$ ). Наличие математического выражения для кинетики сушки способствует оценить различные переменные влияющие на сушку и сложные взаимодействия между условиями сушки и параметрами вибрации.

Чжао и др. [394] кинетику сушки охарактеризовали путем оценки  $D_{эфф.}$ . Математически этот параметр может быть представлен как функция параметров вибрации, таких как амплитуда ( $A$ ) и частота ( $F$ ), согласно исследованиям Стакича и Урошевича [395]:

$$D_{\text{эфф.}} = 2,1 \times 10^{-5} \left[ \frac{A(2\pi F)^2}{g} \right]^{2,2} = 2,1 \times 10^{-5} (B)^{2,2} \quad (4.80)$$

где  $A$  – амплитуда вибрации;  $F$  – частота вибрации;  $g$  – гравитационное ускорение;  $B$  – безразмерный вибрационный число.

Это ясно из уравнения (4.80): работа с фиксированными значениями параметров вибрации влияет на перенос влаги и, следовательно, на динамику сушки. Принимая определение безразмерного числа колебаний как  $B=A(2\pi F)^2/g$ . Однако в этом подходе неясно, даст ли комбинация различных значений  $A$  и  $F$  различные значения  $D_{\text{эфф.}}$ . Некоторые исследования в литературе [396-397] показали, что различные динамические характеристики жидкости получены при одинаковом значении  $B$  в сушильном сырье. Нами получены различные значения кинетических констант сушки для тех же значений  $B$  с различными комбинациями  $A$  и  $F$ . Такие доказательства побудили авторов изучить: каким уравнение (4.80) может использоваться для прогнозирования эффективной диффузии влаги во время сушки. Выполнена оценка - каким образом достигаются оптимальные рабочие условия с меньшим потреблением энергии, в зависимости от соотношения между параметрами вибрации и условиями сушки.

*Теоретические принципы.* При осуществлении типичных способов сушки часто описывается проблема нестационарной диффузии для представления движущей силы испарения в виде математических выражений. Таким образом, математическое моделирование переноса влаги в дисперсном материале легко может быть описано уравнением Фика. В изотермическом процессе уравнения в частных производных, описывающих радиальное распределение жидкости и водяного пара в сферической частице, имеют вид [398]:

$$\frac{\partial C_n(r,t)}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r^2 D_n \frac{\partial C_n(r,t)}{\partial r} \right] \quad (4.81)$$

$$\frac{\partial C_{ж}(r,t)}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r^2 D_{ж} \frac{\partial C_1(r,t)}{\partial r} \right] \quad (4.82)$$

где  $C_n$  - концентрация пара (кг м<sup>3</sup>);  $r$  - радиальная координата;  $t$  - время сушки;  $D_n$  - диффузия пара;  $D_{ж}$  - жидкая диффузия;  $C_{ж}$  - концентрация жидкости;  $r$  - радиальная координата.

Содержание воды (жидкой и парообразной) может быть связано с содержанием влаги в материале (общее содержание влаги в твердом веществе) в сухом состоянии в соответствии со следующим уравнением:

$$X = \frac{C_n + C_{ж}}{\rho_s} \quad (4.83)$$

Где  $X$ - содержание влаги;  $\rho_s$ - твердая удельная масса.

Таким образом, предполагая постоянные твердые свойства, диффузионная модель может быть переписана так:

$$\frac{\partial X(r,t)}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r^2 D_{\text{эфф.}} \frac{\partial X(r,t)}{\partial r} \right] \quad (4.84)$$

Поскольку диффузия пара и жидкости принципиально различны, а содержание воды в обеих фазах представлено общим содержанием влаги, эффективный параметр ( $D_{\text{эфф.}}$ ) определяется для учета обычного переноса влаги в обеих фазах. Кроме того, в процессе сушки молекулы воды могут взаимодействовать со стенками пор частиц при испарении, что характеризует

потение или поверхностную диффузию. Следовательно, удобно определить новый эффективный параметр, который охватывает все диффузионные механизмы, возникающие при сушке пористого твердого вещества. Оцениваемый параметр эффективного массопереноса - это общая эффективная диффузионная способность, которая получается из среднего гармонического значения всех диффузионных механизмов:

$$\frac{1}{D_{эфф.,G}} = \frac{1}{D_{эфф.,k}} + \frac{1}{D_{эфф.,п}} + \frac{1}{D_{эфф.,ж}} + \frac{1}{D_{эфф.,n}} \quad (4.85)$$

где  $D_{эфф.,k}$  - эффективная диффузия Кнудсена;  $D_{эфф.,n}$  - эффективная диффузия пара;  $D_{эфф.,ж}$  - эффективная диффузия жидкости;  $D_{эфф.,п}$  - эффективная диффузионная способность поверхности.

Отметим, что все коэффициенты диффузии являются эффективными, потому что они зависят от характеристик твердого тела (пористость и извилистость) и условий эксплуатации, в том числе параметров колебаний, представленных в уравнении (4.80). Кроме того, глобальный диффузионный параметр в этом случае является сложным, который включает в себя многочисленные механизмы, наблюдаемые при сушке, в том числе явления испарения и конденсации, т.е. которые связаны с другими механизмами переноса влаги, такими как капиллярный поток и поток, благодаря чему возникает градиент давления или разница осмотического давления.

Уравнение (4.84) подчиняется следующим начальным условиям (для  $t=0$  и  $0 \leq r \leq R$ ):

$$C. I : X(r, 0) = X_0 \quad (4.86)$$

Наиболее распространенное граничное условие применяется к уравнению (4.84), предполагает симметрию в профиле концентрации влаги в центре частицы, т.е. (для  $t>0$  и  $r=0$ ):

$$C. C. 1 : \left. \frac{\partial X(r,t)}{\partial r} \right|_{r=0} = 0 \quad (4.87)$$

Первоначально предполагая, что сопротивление внешнему массообмену пренебрежительно мало ( $Bi \rightarrow \infty$ ) и равновесное содержание влаги устанавливается на поверхности частицы, принимается условие первого типа или Дирихле (для  $t>0$  и  $r=R$ ):

$$C. C. 2 (a) : X(r, t)|_{r=R} = X_{равн.} \quad (4.88)$$

где  $R$  - радиус частицы;  $X_{равн.}$  - динамическое равновесное содержание влаги.

Аналитическое решение уравнения (4.84) может быть получено при условии равномерного начального содержания влаги, постоянной эффективной диффузии влаги и незначительной усадки частиц, определяется по уравнению, известному как «модель Кранка» [399]:

$$KB = \frac{X(r,t) - X_{равн.}}{X_0 - X_{равн.}} = \frac{2R}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n \cdot r} \sin\left(\frac{n\pi r}{R}\right) \exp\left[-\left(\frac{n\pi}{R}\right)^2 D_{эфф.} t\right] \quad (4.89)$$

где  $KB$  - коэффициент влажность;  $X_0$  - начальная влажность;  $n$  - количество условий суммы.

Среднее содержание влаги в частице как функция времени получается из:

$$X(t) = \frac{3}{R^3} \int_0^R X(r, t) r^2 dr \quad (4.90)$$

Представляя уравнение (4.89) в формулу (4.90), безразмерное среднее содержание влаги в частицах получается, как функция времени:

$$KB = \frac{X(t) - X_{\text{равн.}}}{X_0 - X_{\text{равн.}}} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n}\right)^2 \exp \cdot \left[ - \left(\frac{n\pi}{R}\right)^2 D_{\text{эфф.}} \right] \quad (4.91)$$

Уравнение (4.91) классически используется в литературе для описания изменения среднего содержания влаги как функции времени сушки.

Если на поверхности частицы предполагается внешнее сопротивление массообмену (Био  $\rightarrow$  0), для решения уравнения используется третий тип или граничное условие Робина (для  $t > 0$  и  $r=R$ ) (4.84) [400]:

$$\text{С. С. 2 (b): } -D_{\text{эфф.}} \left. \frac{\partial X(r,t)}{\partial r} \right|_{r=R} = \beta_{\text{эфф.}} [X(r,t) - X_{\text{равн.}}] \quad (4.92)$$

где  $\beta_{\text{эфф.}}$  - эффективный параметр массопереноса.

В формуле (4.92)  $\beta_{\text{эфф.}}$  - эффективный коэффициент массообмена, основанный на предположении, что скорость потери влаги прямо пропорциональна избыточной влажности, он выше равновесной влажности [400]. Исходя из начальных и граничных условий (С.С.1 и С.С.2 (b)), решение диффузионной модели в терминах числа Био:

$$KB = \frac{X(t) - X_{\text{равн.}}}{X_0 - X_{\text{равн.}}} = 6 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\text{Био}^2}{\lambda_n^2 (\lambda_n^2 + \text{Био}(\text{Би} - 1))} \exp \left( -\lambda_n^2 \frac{D_{\text{эфф.}}}{R^2} \right) \quad (4.93)$$

где  $\lambda_n$  - корни трансцендентного уравнения.

Решение уравнения (4.93) требует оценки двух параметров (Био и  $D_{\text{эфф.}}$ ). Собственные значения ( $\lambda_n$ ) получаются из трансцендентного уравнения:

$$\lambda_n \text{ctg}(\lambda_n) + \text{Био} - 1 = 0 \quad (4.94)$$

В работе [401] предложили модель с новым набором параметров ( $D_{\text{эфф.}}$  и  $\varphi$ ), применимых к операциям быстрой сушки (как в вибрационной сушилке с ИК-нагревом), приняв граничное условия в виде

$$\text{С. С. 2 (c): } X(r,t)|_{r=R} = (X_0 - X_{\text{равн.}}) \exp(-\varphi t) + X_{\text{равн.}} \quad (4.95)$$

В этом граничном условии  $\varphi$  является константой высухания поверхности, определяющая скорость приближения поверхностной влажности к равновесному значению [402]. Аналитическое решение диффузионной модели для конвективных граничных условий представлено в уравнениях (4.87) и (4.95) [401]:

$$KB = \frac{X(t) - X_{\text{равн.}}}{X_0 - X_{\text{равн.}}} = \exp(-\varphi t) \left\{ 1 + \frac{6\varphi R^2}{D_{\text{эфф.}}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2 \pi^2} \cdot \left[ \frac{1 - \exp(\varphi - n^2 \pi^2 D_{\text{эфф.}})}{R^2} \right] \right\} \quad (4.96)$$

Ожидается, что это двухпараметрическое решение улучшит подгонку, поскольку оно имеет две степени свободы. Насколько известно нам, это граничное условие не применялось к сушке пористых частиц в вибрационной сушилке с ИК-нагревом. В этой работе эффективный коэффициент диффузии влаги оценивается как функция температуры осушающего воздух в соответствии с соотношением Аррениуса:

$$D_{\text{эфф.}} = D_0 \exp \left( \frac{E_a}{R_g T} \right) \quad (4.97)$$

где  $D_0$  - предварительный экспоненциальный фактор;  $E_a$  - энергия активации;  $R_g$  -

универсальная газовая постоянная;  $T$  - температура осушающего воздуха.

Экспериментальные данные могут быть сопоставлены с аналитическими решениями трёх вариантов, полученных при единственном начальном и четырёх возможных граничных условиях осуществления процесса вибрационной сушки с ИК-нагревом [403-407].

#### **4.5. Программное обеспечение математической модели предварительной переработки живого шелкопряда**

Программа предназначена для умиротворения живого шелкопряда и обработки экспериментальных результатов, а также в учебном процессе. Программа является многофункциональной, она обеспечивает выполнение следующих функций: расчёт технологического процесса предварительной переработки живого шелкопряда с помощью инфракрасных лучей; анализ акустических и вибрационных эластических волн и низкой температуры; проведения работ, направленных на энергоэффективность установки; управление технологическими процессами энергосберегающей и работающей при низких температурах установки с целью высоко качественных продуктов. С помощью программы выполняются расчёты технологического процесса предварительной переработки живого шелкопряда с инфракрасными лучами, тем самым достигается энергия сбережения и повышения качества продукта. Предлагаемая программа ускоряет обработку научных результатов испытаний, снижает вероятность возникновения ошибок, неизбежных при обработке большого объема экспериментальных данных, уменьшает трудозатраты на расчеты и, как следствие, повышает производительность труда [408].

*Программа:*

```
function varargout = untitled(varargin)
% UNTITLED Application M-file for untitled.fig
% FIG = UNTITLED launch untitled GUI.
% UNTITLED('callback_name', ...) invoke the named callback.

% Last Modified by GUIDE v2.0 15-Feb-2018 16:17:34

% Determine the selected data set.
str = get(hObject, 'String');
val = get(hObject, 'Value');
% Set current data to the selected data set.
switch str{val};
case 'peaks' % User selects peaks.
    handles.current_data = handles.peaks;
case 'membrane' % User selects membrane.
    handles.current_data = handles.membrane;
case 'sinc' % User selects sinc.
```

```

handles.current_data = handles.sinc;
end
% Save the handles structure.
guidata(hObject,handles)

A = [1 3 7; 2 4 6];
x = A(1, 2); % first row, second column (=3)
[a, b] = size(A); % a is number of rows
b = sin(0.1*pi);
f = (12.1 + c)*d;
g = 1:20;
h = g * g'; % h will be a 1*1 matrix
k = g' * g; % k will be a 20*20 matrix
p = g .* (g+1); % p will be a 1*20 matrix
for i = 1:10,
a(i) = g(2*i-1);
end
ad = a(end) - a(1); % "end" is the final index
if any(any(A>10)), error('Some elements too large'); end
if max(B)==100, disp('B has reached 100'), end

for i = 1:3,
A = rand(4,4);
b = rand(4,1);
x(:,i) = A \ b;
end
A = 1; B = 2; C = 3;
[X, Y, Z] = copy3(A, B, C)
function [x, y, z] = copy3(a, b, c)
% function [x, y, z] = copy3(a, b, c)
% This just passes a into x, b into y etc
x = a;
y = b;
z = c;
x = [0:200]'*(8*pi/200);
for T = [1 2 4 8],
plot(x, expsine(x, T))
hold on
end
for i = 1:5,
if i==1,
disp('i = 1')
elseif i==2,
disp('i = 2')

```

```

else
if i<4,
disp('i = 3')
elseif i<3.5,
disp('This line never executes')
elseif i>4,
disp('i = 5')
else
disp('i = 4')
end
end
end
end

```

```

function v = expsine(t, T);
% function v = expsine(t, T);
% This is a function for generating a decaying sine wave
v = exp(-t./T).*sin(t);

```

```

if nargin == 0 % LAUNCH GUI

```

```

    fig = openfig(mfilename,'reuse');

```

```

    % Use system color scheme for figure:
    set(fig,'Color',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));

```

```

    % Generate a structure of handles to pass to callbacks, and store it.
    handles = guihandles(fig);
    guidata(fig, handles);

```

```

    if nargout > 0
        varargout{1} = fig;
    end

```

```

elseif ischar(varargin{1}) % INVOKE NAMED SUBFUNCTION OR CALLBACK

```

```

    try
        if (nargout)
            [varargout{1:nargout}] = feval(varargin{:}); % FEVAL
switchyard
        else
            feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
        end
    catch

```

```

        disp(lasterr);
    end

end

%| ABOUT CALLBACKS:
%| GUIDE automatically appends subfunction prototypes to this file, and
%| sets objects' callback properties to call them through the FEVAL
%| switchyard above. This comment describes that mechanism.
%|
%| Each callback subfunction declaration has the following form:
%| <SUBFUNCTION_NAME>(H, EVENTDATA, HANDLES, VARARGIN)
%|
%| The subfunction name is composed using the object's Tag and the
%| callback type separated by '_', e.g. 'slider2_Callback',
%| 'figure1_CloseRequestFcn', 'axis1_ButtondownFcn'.
%|
%| H is the callback object's handle (obtained using GCBO).
%|
%| EVENTDATA is empty, but reserved for future use.
%|
%| HANDLES is a structure containing handles of components in GUI using
%| tags as fieldnames, e.g. handles.figure1, handles.slider2. This
%| structure is created at GUI startup using GUIHANDLES and stored in
%| the figure's application data using GUIDATA. A copy of the structure
%| is passed to each callback. You can store additional information in
%| this structure at GUI startup, and you can change the structure
%| during callbacks. Call guidata(h, handles) after changing your
%| copy to replace the stored original so that subsequent callbacks see
%| the updates. Type "help guihandles" and "help guidata" for more
%| information.
%|
%| VARARGIN contains any extra arguments you have passed to the
%| callback. Specify the extra arguments by editing the callback
%| property in the inspector. By default, GUIDE sets the property to:
%| <MFILENAME>(<SUBFUNCTION_NAME>', gcbo, [], guidata(gcbo))
%| Add any extra arguments after the last argument, before the final
%| closing parenthesis.

% -----
function varargout = pushbutton1_Callback(h, eventdata, handles, varargin)

% -----

```

```

function varargout = radiobutton1_Callback(h, eventdata, handles, varargin)

% -----
function varargout = radiobutton2_Callback(h, eventdata, handles, varargin)

% -----
function varargout = radiobutton3_Callback(h, eventdata, handles, varargin)

% -----
function varargout = radiobutton4_Callback(h, eventdata, handles, varargin)

% -----
function varargout = edit1_Callback(h, eventdata, handles, varargin)

% -----
function varargout = edit2_Callback(h, eventdata, handles, varargin)

% -----
function varargout = edit3_Callback(h, eventdata, handles, varargin)

% -----
function varargout = edit4_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
    copyfile(fullfile(docroot, 'techdoc','creating_guis',...
        'examples','simple_gui*. *')),fileattrib('simple_gui*. *', '+w');
    guide simple_gui.fig;
    edit simple_gui.m

S.fh = figure('units','pixels',...
    'position',[500 500 200 260],...
    'menubar','none',...
    'name','GUI_1',...
    'numbertitle','off',...
    'resize','off');

S.ls = uicontrol('style','list',...
    'unit','pix',...
    'position',[10 60 180 180],...
    'min',0,'max',2,...
    'fontsize',14,...
    'string',{'one';'two';'three';'four'});
S.pb = uicontrol('style','push',...
    'units','pix',...
    'position',[10 10 180 40],...

```

```

'fontsize',14,...
'string','Delete String',...
'callback',{@pb_call,S});

```

```

function [] = pb_call(varargin)
% Callback for pushbutton, deletes one line from listbox.
S = varargin{3}; % Get the structure.
L = get(S.ls,{'string','value'}); % Get the users choice.

```

```

% We need to make sure we don't try to assign an empty string.
if ~isempty(L{1})
    L{1}(L{2}(:)) = []; % Delete the selected strings.
    set(S.ls,'string',L{1},'val',1) % Set the new string.
end

```

```

function [] = GUI_11()
% Demonstrate how to use a GUI to stop a FOR loop.
% Note that this file has both the GUI creation lines and the FOR loop, but
% that is not necessary. When the loop is stopped, the number of
% iterations completed will be displayed in the command window.
%
% Suggested exercise: Modify this program so that a FOR loop running in
% another M-File could call it and allow the loop to be stopped.
%
%
% Author: Matt Fig, with major idea from Jos(10584) on the FEX.
% Date: 1/15/2010

```

```

S.fh = figure('units','pix',...
    'pos',[400 400 120 50],...
    'menubar','none',...
    'name','GUI_11',...
    'numbertitle','off',...
    'resize','off');
S.pb = uicontrol('string','Stop Loop!',...
    'callback',{@pb_call},...
    'units','pixels',...
    'fontsize',11,...
    'fontweight','bold',...
    'position',[10 10 100 30]);

```

```

n = 1;
drawnow; % Draw the GUI before we enter the loop!

```

```

% Below are two versions of the FOR loop which we wish to stop. The first

```

```

% version is simpler and close to the version which would be written if we
% didn't want a GUI to be able to stop its execution. The second version
% allows for more iterations because it does not execute the ISHANDLE
% function or use DRAWNOW every iteration, instead it executes the MOD
% function every iteration. To see the difference, run each loop for ten
% seconds before stopping with the GUI. The number of loop iterations will
% be displayed in the command window. What are some potential drawbacks of
% using the second method?

```

```

for ii = 1:inf % First loop, run EITHER this loop OR the next one.
    if ~ishandle(S.fh) % Check if the figure exists.
        break;
    end
    drawnow; % Try it without this line to see what happens (Ctrl+R)!
    n = n + 1; % Here is where all of the loop commands would go.
end

```

```

% for ii = 1:inf % Second loop, run EITHER this loop OR the previous one.
%   if ~mod(ii,100)
%       if ~ishandle(S.fh) % Check if the figure exists.
%           break;
%       end
%       drawnow; % Try it without this line to see what happens (Ctrl+R)!
%   end
%   n = n + 1; % Here is where all of the loop commands would go.
% end

```

```

% Display how many iterations the loop was able to complete.
fprintf('\n\t%s%i\n\n','The number of iterations completed is: ',n )

```

```

function [] = pb_call(varargin)
% Callback for pushbutton
delete(S.fh) % Delete the figure.
end
end

```

```

function [] = GUI_13()
% Demonstrate how to display & change a slider's position with an edit box.
% Slide the slider and it's position will be shown in the editbox.
% Enter a valid number in the editbox and the slider will be moved to that
% position. If the number entered is outside the range of the slider,
% the number will be reset.
%
%
% Author: Matt Fig

```

```
% Date: 7/15/2009
```

```
S.fh = figure('units','pixels',...  
    'position',[300 300 300 100],...  
    'menubar','none',...  
    'name','GUI_13',...  
    'numbertitle','off',...  
    'resize','off');  
S.sl = uicontrol('style','slide',...  
    'unit','pix',...  
    'position',[20 10 260 30],...  
    'min',1,'max',100,'val',50);  
S.ed = uicontrol('style','edit',...  
    'unit','pix',...  
    'position',[20 50 260 30],...  
    'fontsize',16,...  
    'string','50');  
set([S.ed,S.sl],'call',{@ed_call,S}); % Shared Callback.
```

```
function [] = ed_call(varargin)  
% Callback for the edit box and slider.  
[h,S] = varargin{[1,3]}; % Get calling handle and structure.
```

```
switch h % Who called?  
    case S.ed  
        L = get(S.sl,{'min','max','value'}); % Get the slider's info.  
        E = str2double(get(h,'string')); % Numerical edit string.  
        if E >= L{1} && E <= L{2}  
            set(S.sl,'value',E) % E falls within range of slider.  
        else  
            set(h,'string',L{3}) % User tried to set slider out of range.  
        end  
    case S.sl  
        set(S.ed,'string',get(h,'value')) % Set edit to current slider.  
    otherwise  
        % Do nothing, or whatever.  
end
```

```
function [] = GUI_21()  
% Demonstrate how to get selection from a popup to an edit box & vis versa.  
% This is an expansion of GUI_20. Here we will enforce a specific list of  
% choices so that any text the user enters into the editbox which is not a  
% choice in the popup will be overwritten.
```

```

%
%
% Author: Matt Fig
% Date: 7/15/2009

S.fh = figure('units','pixels',...
    'position',[300 300 300 110],...
    'menubar','none',...
    'name','GUI_21',...
    'numbertitle','off',...
    'resize','off');
S.pop = uicontrol('style','pop',...
    'units','pixels',...
    'position',[20 10 260 40],...
    'string',{'one','two','three','four'});
S.ed = uicontrol('style','edit',...
    'units','pix',...
    'position',[20 60 260 30],...
    'fontsize',16,...
    'string','one');

set([S.pop,S.ed],{'callback'},{@pop_call,S};{@ed_call,S}); % Set callback

function [] = pop_call(varargin)
% Callback for the popup.
S = varargin{3}; % Get the structure.
P = get(S.pop,{'string','val'}); % Get the users choice.
set(S.ed,'string',P{1}{P{2}}); % Assign the user's choice to the edit.

function [] = ed_call(varargin)
% Callback for the edit.
S = varargin{3}; % Get the structure.
E = get(S.ed,'string'); % Get the string from the edit.
P = get(S.pop,{'string','value'}); % Get the users choice.
% Check if edit string is found in pop-up list.
tmp = strmatch(E,P{1});

if ~isempty(tmp)
    set(S.pop,'value',tmp) % Set the pop-up to match the edit.
else
    set(S.ed,'string',P{1}{P{2}}) % Set the edit to current pop-up.
end

```

```

function [tf] = GUI_37(str,time_out)
% Demonstrate how to make a password editbox, and nested function
% callbacks. This is meant to be called from inside a pcode type file,
% where an encrypted password is stored. This GUI is called with the true
% password passed in, then the user is prompted to enter the password. If
% the password the user enters doesn't match the password passed into the
% GUI, a value of false (0) is returned. If the user enters the correct
% password, a value of true (1) is returned. Also allowed is a timeout
% second argument.
%
% Example:
%     tf = GUI_37('PassworD') % Then enter PassworD into the GUI.
%
% Suggested exercise: Consider what would happen if the password was
% stored in the structure S. Re-code this GUI so that the password is
% stored in S at the input checking, then figure out how to crack the
% default password (pretending you don't know it) from the command line by
% first calling the GUI with no argument. As the GUI is written now, can
% the password be compromised from the command line? Is there a way to
% safely store the password in the structure S?
% HINTS: Is the power of nested functions fully used as written here?
%     See the other examples of nested function use.
%
%
% Author: Matt Fig
% Date: 7/15/2009

% Input checking. Assign a default password or user's string.
N = nargin;

if N==0
    str = 'Google'; % Default password, just to test code.
    time_out = 3600; % GUI will stay in uiwait for 1 hour.
elseif N==1
    time_out = 3600;
elseif N>2
    error('Only a string input and a timeout are allowed. See help.')
end

if ~ischar(str)
    str = 'Google';
end

S.PWG = []; % This will hold the string the user enters.

```

```

S.fh = figure('units','pixels',...
    'position',[450 450 300 60],...
    'menubar','none',...
    'name','Verify Password.',...
    'resize','off',...
    'numbertitle','off',...
    'name','GUI_37');
S.tx = uicontrol('style','text',...
    'units','pix',...
    'position',[5 20 80 20],...
    'string','Password:',...
    'fontweight','bold',...
    'horizontalalign','left',...
    'fontsize',11);
S.ed = uicontrol('style','edit',...
    'units','pix',...
    'position',[90 20 200 20],...
    'backgroundcolor','w',...
    'callback',{ @ed_call,S},...
    'tooltipstring',' Enter your password here.',...
    'HorizontalAlign','left',...
    'KeyPressFcn',{ @ed_kpfcn,S});
uicontrol(S.ed) % Put a blinking cursor in edit box.
uiwait(S.fh,time_out) % Suspend other execution until return is pressed.

if strcmp(str,S.PWG)
    tf = true; % Only if the correct password was passed.
else
    tf = false; % Incorrect password, or user closed GUI.
end

if ishandle(S.fh)
    close(S.fh) % In case the user timed out.
end

function [] = ed_call(varargin)
    % Closes the dialog when user presses return.
    close(S.fh)
end

function [] = ed_kpfcn(varargin)
    [h,S] = varargin{[1,3]}; % Get calling handle and structure.
    % Deals with user input.
    CC = get(S.fh,'currentcharacter'); % The character user entered.

```

```

num = int8(CC);

if num == 13 % This is a carriage return.
    return
end

E = get(h,'string'); % the string of the edit box.
% Any key handling other than the return key should be handled
% in the following if else block.
if num == 8 % Backspace pressed, update password and screen.
    set(h,'string',E(1:end-1));
    S.PWG = S.PWG(1:end-1);
elseif num == 127 % The Delete Key: do nothing.
% On some systems this will delete the symbols. How would you
% prevent this?
elseif ~isempty(num)
    set(h,'string',[E,'*']) ; % Print out an asterisk in gui.
    S.PWG = [S.PWG CC];
end
% Update the structure.
% One might think that this is not necessary since these functions
% are nested within GUI_37. However this is not true. When the
% callback to S.ed was first assigned, the value of S at that
% instant is what was captured. Note that S.ed does not exist after
% the uiwait call in GUI_37, even though it existed right before
% the uiwait call! (Try it to see by placing S.ed after uiwait!)
set(h,'KeyPressFcn',{ @ed_kpfcn,S })
end
end

```

```

function [tf] = GUI_37(str,time_out)
% Demonstrate how to make a password editbox, and nested function
% callbacks. This is meant to be called from inside a pcode type file,
% where an encrypted password is stored. This GUI is called with the true
% password passed in, then the user is prompted to enter the password. If
% the password the user enters doesn't match the password passed into the
% GUI, a value of false (0) is returned. If the user enters the correct
% password, a value of true (1) is returned. Also allowed is a timeout
% second argument.
%
% Example:
%     tf = GUI_37('PassworD') % Then enter PassworD into the GUI.
%
% Suggested exercise: Consider what would happen if the password was

```

```

% stored in the structure S. Re-code this GUI so that the password is
% stored in S at the input checking, then figure out how to crack the
% default password (pretending you don't know it) from the command line by
% first calling the GUI with no argument. As the GUI is written now, can
% the password be compromised from the command line? Is there a way to
% safely store the password in the structure S?
% HINTS: Is the power of nested functions fully used as written here?
%     See the other examples of nested function use.
%
%
% Author: Matt Fig
% Date: 7/15/2009

% Input checking. Assign a default password or user's string.
N = nargin;

if N==0
    str = 'Google'; % Default password, just to test code.
    time_out = 3600; % GUI will stay in uiwait for 1 hour.
elseif N==1
    time_out = 3600;
elseif N>2
    error('Only a string input and a timeout are allowed. See help.')
end

if ~ischar(str)
    str = 'Google';
end

S.PWG = []; % This will hold the string the user enters.
S.fh = figure('units','pixels',...
    'position',[450 450 300 60],...
    'menubar','none',...
    'name','Verify Password.',...
    'resize','off',...
    'numbertitle','off',...
    'name','GUI_37');
S.tx = uicontrol('style','text',...
    'units','pix',...
    'position',[5 20 80 20],...
    'string','Password:',...
    'fontweight','bold',...
    'horizontalalign','left',...
    'fontsize',11);

```

```

S.ed = uicontrol('style','edit',...
    'units','pix',...
    'position',[90 20 200 20],...
    'backgroundcolor','w',...
    'callback',{ @ed_call,S},...
    'tooltipstring',' Enter your password here.',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'KeyPressFcn',{ @ed_kpfcn,S});
uicontrol(S.ed) % Put a blinking cursor in edit box.
uiwait(S.fh,time_out) % Suspend other execution until return is pressed.

if strcmp(str,S.PWG)
    tf = true; % Only if the correct password was passed.
else
    tf = false; % Incorrect password, or user closed GUI.
end

if ishandle(S.fh)
    close(S.fh) % In case the user timed out.
end

function [] = ed_call(varargin)
    % Closes the dialog when user presses return.
    close(S.fh)
end

function [] = ed_kpfcn(varargin)
    [h,S] = varargin{[1,3]}; % Get calling handle and structure.
    % Deals with user input.
    CC = get(S.fh,'currentcharacter'); % The character user entered.
    num = int8(CC);

    if num == 13 % This is a carriage return.
        return
    end

    E = get(h,'string'); % the string of the edit box.
    % Any key handling other than the return key should be handled
    % in the following if else block.
    if num == 8 % Backspace pressed, update password and screen.
        set(h,'string',E(1:end-1));
        S.PWG = S.PWG(1:end-1);
    elseif num == 127 % The Delete Key: do nothing.
        % On some systems this will delete the symbols. How would you

```

```
% prevent this?
elseif ~isempty(num)
    set(h,'string',[E,'*']) ; % Print out an asterisk in gui.
    S.PWG = [S.PWG CC];
end
% Update the structure.
% One might think that this is not necessary since these functions
% are nested within GUI_37. However this is not true. When the
% callback to S.ed was first assigned, the value of S at that
% instant is what was captured. Note that S.ed does not exist after
% the uiwait call in GUI_37, even though it existed right before
% the uiwait call! (Try it to see by placing S.ed after uiwait!)
set(h,'KeyPressFcn',{@ed_kpfcn,S})
end
end
```

## ГЛАВА 5. РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР РАСПОЛОЖЕНИЯ ИК-ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В СУШИЛЬНОМ ШКАФУ. РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

### 5.1. Исследование констант теплообмена для продуктов растительного происхождения в процессе сушки с учетом нелинейных явлений

Типовой процесс сушки сопровождается тепломассообменом, в ходе которого влага переходит из объема обезвоживаемого объекта во внешнюю среду.

Существующие физические параметры имеют несколько аспектов. Изменчивость параметров объекта переработки в процессах производства усложняет задачу исследования показателей процессов нагрева и обезвоживания; меняются условия диффузии, коэффициент теплопроводности, константы влагопереноса, упругость в целом, упругость внутренних составляющих изучаемого объекта. Любое физическое воздействие на данный объект обуславливает ряд физических процессов, которые взаимно связаны [409-410]. По этой причине исследование конечных результатов интегрального воздействия различных физических факторов на исследуемый процесс носит прикладной характер с выходом на производство.

В частности, речь идет о процессе сушки, толщины сырья, резко выделенных участках самосогревания хлопка-сырца, что является новых эффектов, объясняемых только с позиций анализа нелинейных процессов.

В диссертационной работе Р.Х.Максудова [411] впервые были исследованы процессы распространения тепла в хлопке-сырце с учетом зависимости коэффициента теплопроводности от температуры, дано объяснение механизма и причин появления резких температурных фронтов в процессах самосогревания больших хлопковых масс при влажности более 18%.

Р.Х.Максудов и др. [411] использовали формулу для коэффициента теплопроводности в виде:

$$\frac{k}{k_0} = 1 + 0,42 \cdot 10^{-2} \cdot u, \frac{1}{град} . \quad (5.1)$$

Исследования уравнения теплопроводности для данной задачи проводились в следующем порядке.

Имеем уравнение, описывающее процесс нелинейного распространения тепла:

$$\rho c u_t = k_0 \{[(1 + \varepsilon u)] u_x\}_x, \quad (5.2)$$

где  $\rho$ ,  $c$  – плотность и теплоемкость среды распространения тепла;  $u_t$  – производная по времени,  $u_x$  – производная по координате,  $\varepsilon$  – параметр нелинейности, размерности 1/град.

Введя обозначение  $a^2 = \frac{k_0}{\rho c}$ , имеем:

$$\begin{cases} u_t = a^2 \frac{1}{2\varepsilon} (1 + \varepsilon u)_{xx}^2, \\ u|_{t=0} = u(x,0), \\ u|_{x \rightarrow \pm\infty} = 0. \end{cases} \quad (5.3)$$

Введем переменную  $z = \frac{x}{\sqrt{t}}$  и используем теорию подобия математической физики для параболических нелинейных уравнений. Выражение (5.1) приводится к уравнению с одной переменной:

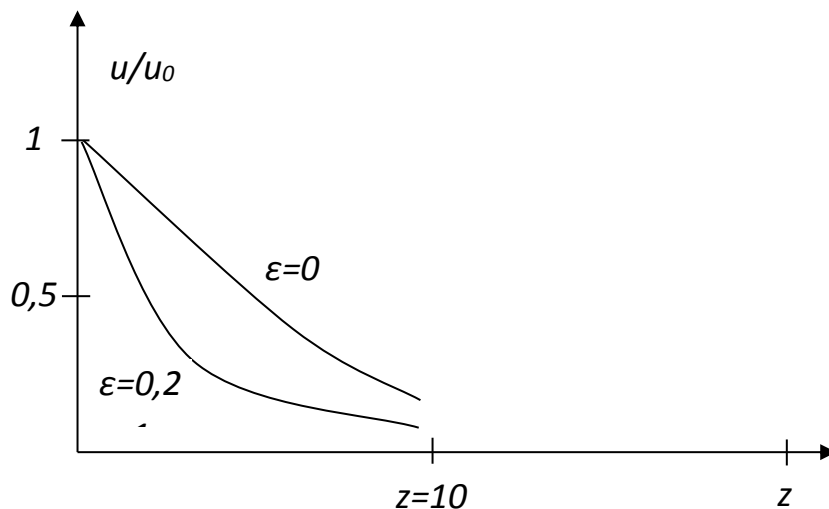
$$V_{zz}^2 + \frac{2\varepsilon}{a^2} V_z \cdot z = 0, \quad (5.4)$$

где  $V = V(z)$ ,  $V = 1 + \varepsilon u$ .

Решение уравнения (5.4) имеет вид (рисунок 5.1).

Приведенный выше пример еще раз показывает, что пренебрежение малыми возмущениями должно выполняться обоснованно, т.е. линеаризация должна опираться на строгое физическое и математическое обоснование.

Кроме того, исследуя уравнение (5.4) с помощью метода последовательных приближений, можно легко убедиться в том, что члены разложения носят возрастающий по времени характер.



**Рис. 5.1. Кривые сравнения решений линейной и нелинейной задач при распространении тепла в бесконечной среде**

Проведенный анализ свидетельствует, что для построения математических моделей процесса сушки и аналогичных технологических приемов, где имеют место фазовые переходы влаги из одного состояния в другое при наличии микрооднородностей (микронеоднородностей) среды, полиномиальное приближение по динамическим переменным имеет свои ограничения. Даже учет квадратичных членов не всегда может раскрыть суть явных нелинейных явлений.

Представляется, что для решения подобного рода приведенных выше задач целесообразно применять метод искусственных нейронных сетей с

учетом физики нелинейных явлений с помощью аналитических и экспериментальных исследований и строго определять предел линеаризации и условия квазилинейности по уравнениям, описывающим исследуемый технологический процесс.

## 5.2 .Трехмерные задачи двухслойных материалов – коконов тутового шелкопряда с целью управления процессом обработки

Уравнение распространения тепла для двухслойных сфер, где внешняя оболочка претерпевает действие ИК-поглощения, представляет интерес.

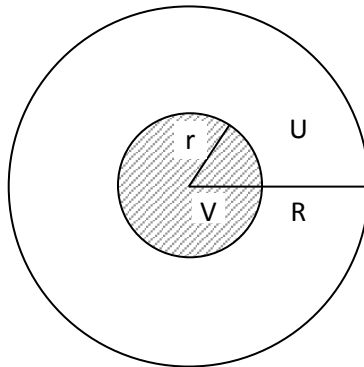


Рис. 5.2. Двухслойная модель коконов тутового шелкопряда

Дано:

$$\begin{cases} 0 \leq r \leq r_1 \\ r_1 \leq R \leq R_0 \end{cases}$$

Начальные условия:

$$U|_{t=0}=0; \quad V|_{t=0}=V_0, \quad (5.5)$$

где  $r$ –радиус внутренней сферы;  $R$ –радиус внешней сферы  
Они описываются системой уравнений 5.6:

$$\begin{cases} U_t = a^2 \left( U_{RR} + \frac{2}{R} UR \right) + f_0 e^{-MR} \frac{1}{\rho C_{11}}, \\ V_t = b^2 \left( V_{RR} + \frac{2}{R} V_R \right) \end{cases}, \quad (5.6)$$

где  $a^2 = \frac{K_1}{\rho_1 C_1}$ ;  $b^2 = \frac{K_2}{\rho_2 C_2}$  ;

где,  $K_1$ –коэффициент теплопроводности,  $\rho_1$ –удельная плотность,  $C_1$ –удельная теплоемкость для внешней оболочки.

Соответственно:

$K_2$ –коэффициент теплопроводности,  $\rho_2$ –удельная плотность,  $C_2$ –удельная теплоемкость.

Напишем для данной системы уравнений (5.6) граничные условия для внешней сферы

$$\frac{\partial U}{\partial r} + hU \Big|_{R=R_0} = 0 \quad (5.7)$$

Указанное выше связано с тем, что имеется поток энергии поверхности, зависящий от испарения воды, где мощность испарения зависит от температуры воды.

Следует отметить, что такая постановка должна учитывать и влагоперенос, но, учитывая, что ищем эффекты взаимодействия, этих двух слоев для определённых условий, в данном подразделе ограничимся формулой (5.7).

Напишем граничные условия для границы двух сфер по поверхности  $r = R = r_1$

Для них соблюдается равенство температур их производных. Последнее объясняется равенством потоков тепла

$K_1 \frac{\partial U}{\partial R}$  и  $K_2 \frac{\partial V}{\partial r}$  на границе.

$$\begin{cases} U \Big|_{R=r_1} = V \Big|_{r=r_1} \\ K_1 \frac{\partial U}{\partial R} \Big|_{R=r_1} = K_2 \frac{\partial V}{\partial r} \Big|_{r=r_1} \end{cases} \quad (5.8)$$

Напишем также условия в центре, но в новых динамических переменных  $x_1$ , так как переход от  $U$  и  $V$  к переменным  $\varphi$  и  $\psi$  с помощью подстановки  $\varphi = RU$ ,  $\psi = rV$  облегчает анализ процесса и формальные процедуры.

В выражениях с новым переменными, после преобразований имеем:

$$\begin{cases} \varphi_t = a^2 \varphi_{RR} \\ V_t = v^2 \psi_{rr} \end{cases}, \quad (5.9)$$

это проще, чем уравнение (5.6)

Кроме того, они меняют и граничные условия:

$$\frac{\partial U}{\partial r} + hU \Big|_{r=R_0} = 0 \text{ превращается в } \frac{\partial \varphi}{\partial R} \Big|_{R=R_0} + \left(h - \frac{1}{R_0}\right) \varphi \Big|_{R=R_0} = 0 \quad (5.10)$$

Из 1-го уравнения (5.8) имеем следующее.

$$U \Big|_{R=r} = V \Big|_{r=r_1} \quad \varphi \Big|_{R=R_1} = \psi \Big|_{r=r_1} \quad (5.11)$$

Из 2-уровня (5.11) имеем

$$K_2 \left( \varphi_R - \frac{\varphi}{R} \right) \Big|_{R=r_1} \frac{1}{R_1} = K_2 \left( \psi_r - \frac{\psi}{r} \right) \Big|_{R=r_1} \frac{1}{R_1}$$

или

$$K_1 \varphi_R \Big|_{r_1} - K_2 \psi_r \Big|_{r_1} = \frac{1}{r_1} (K_1 \varphi - K_2 \psi) \quad (5.12)$$

В качестве последнего граничного условия имеем

$$\psi \Big|_{r=0} = 0 \quad (5.13)$$

Итак, имеем 4 граничных условия, описывающие 5.10-5.13

Напишем граничное условие  $U \Big|_{t=0} = U_0$  и  $V \Big|_{t=0} = V_0$

Тогда (5.8) превращается в

$$\begin{cases} RU(R_1t) = U_0 \\ rU(r_1t) = V_0 \end{cases} \quad (5.14)$$

Получили систему, которая имеет однородные граничные условия, т.е. можно применить метод разделения переменных для уравнений с частными производными.

$$\text{Пусть } \begin{cases} \varphi = x(R)T(t) \\ \psi = Y(R)T(t) \end{cases}, \quad (5.15)$$

то для системы (5.9) имеем

$$\frac{x''(R)}{a^2 x(R)} = \frac{\dot{T}}{T} = -\lambda = const \quad (5.16)$$

$$\frac{Y''(r)}{b^2 Y(r)} = \frac{\dot{T}}{T} = -\lambda = const$$

В обычных задачах,  $a^2$  находят при временных функциях, но для получения разделения, запись в виде (5.15) является наиболее удобной. Напишем для них систему уравнений

$$\begin{cases} T + \lambda T = 0 \\ x(R) + \lambda a^2 x(R) = 0 \\ Y(r) + \lambda b^2 Y(r) = 0 \end{cases} \quad (5.17)$$

Их решения:

$$\begin{cases} T = T_0 e^{-\lambda t} \\ x(R) = A \sin \sqrt{\lambda} QR + B \cos \sqrt{\lambda} aR \\ Y(r) = C \sin \sqrt{\lambda} br + D \cos \sqrt{\lambda} b\lambda \end{cases} \quad (5.20)$$

$$\begin{cases} x(R) = A \sin \sqrt{\lambda} QR + B \cos \sqrt{\lambda} aR \\ Y(r) = C \sin \sqrt{\lambda} br + D \cos \sqrt{\lambda} b\lambda \end{cases} \quad (5.21)$$

Производные имеют вид:

$$\begin{aligned} X'(R) &= A \sqrt{\lambda} a \cos \sqrt{\lambda} aR - B \sqrt{\lambda} a \sin \sqrt{\lambda} R \\ Y'(r) &= C \sqrt{\lambda} b \cos \sqrt{\lambda} br - D \sqrt{\lambda} b \sin \sqrt{\lambda} r \end{aligned} \quad (5.22)$$

Подставим их в граничные условия (5.10-5.11), т.е. предварительно тоже применяем метод разделения переменных.

$$\begin{cases} \left[ x^1(R_0) + \left(h - \frac{1}{R_0}\right)x(R_0) \right] T(t) = 0 \\ [x(r_1) - Y(r_1)] T(t) = 0 \\ \left[ K_1 x^1(r_1) - K_2 Y^1(r_1) - \frac{1}{r_1} K_1 x(r_1) + \frac{1}{r_1} K_2 Y(r) \right] T(t) = 0 \\ [Y(0)] T(t) = 0 \end{cases} \quad (5.23)$$

Выражения (5.20-5.21) подставлены в систему (5.23) и получена система уравнений для определения собственных значений и собственных функций для данной системы.

Из последнего уравнение вытекает, что

$$C \sin \sqrt{\lambda} b \cdot 0 + D \cos \sqrt{\lambda} b \cdot 0 = 0, \quad \text{т.е. } D=0 \quad (5.24)$$

Для неизвестных  $A, B, C$  и  $\lambda$  получим систему уравнений

$$\begin{cases} A\sqrt{\lambda}a\cos\sqrt{\lambda}aR_0 - B\sqrt{\lambda}a\sin\sqrt{\lambda}aR_0 + (h - \frac{1}{R_0})[A\sin\sqrt{\lambda}aR_0 + B\cos\sqrt{\lambda}aR_0] = 0 \\ A\sin\sqrt{\lambda}ar_1 + B\cos\sqrt{\lambda}ar_1 - C\sin\sqrt{\lambda}br_1 = 0 \\ K_1(\lambda A\cos\sqrt{\lambda}ar_1 - B\sqrt{\lambda}a\sin\sqrt{\lambda}ar_1) - \frac{1}{r_1}K_1[A\sin\sqrt{\lambda}ar_1 + B\cos\sqrt{\lambda}ar_1] + \\ + \frac{1}{r_1}K_2[C\sin\sqrt{\lambda}br_1] - K_2C\sqrt{\lambda}b\cos\sqrt{\lambda}r_1 = 0 \end{cases} \quad (5.25)$$

$$A\left\{a\sqrt{\lambda}\cos\sqrt{\lambda}aR_0 + (h - \frac{1}{R_0})\sin\sqrt{\lambda}aR_0\right\} + B\left\{-\sqrt{\lambda}a\sin\sqrt{\lambda}aR_0 + (h - \frac{1}{R_0})\cos\sqrt{\lambda}aR_0\right\} + C \cdot 0 = 0$$

$$A\left\{a\sqrt{\lambda}\sin\sqrt{\lambda}ar_0 + (h - \frac{1}{r_0})\sin\sqrt{\lambda}ar_0\right\} + B\{\cos\sqrt{\lambda}ar_1\} + \dots + C(-\sin\sqrt{\lambda}br_0) = 0$$

$$A\left\{\sqrt{\lambda}a\cos\sqrt{\lambda}ar_1 - \frac{K_1}{r_1}\sin\sqrt{\lambda}ar_1\right\} + B\left\{-\sqrt{\lambda}a\sin\sqrt{\lambda}ar_1 - \frac{K_1}{r_1}\cos\sqrt{\lambda}ar_1 + \cos K_2\left\{\frac{1}{r_1}\sin\sqrt{\lambda}br_1 - K_2\sqrt{\lambda}b\cos\sqrt{\lambda}r_1\right\}\right\} = 0$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & 0 \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \beta_{23} \\ \beta_{31} & \beta_{32} & \beta_{33} \end{vmatrix} = 0$$

Система уравнений (5.25) является трансцендентной, с целью снижения громоздкости выражений введем коэффициенты  $\beta_{ij}$ , где  $i=1,2,3$  и  $j=1,2,3$

Напишем систему в следующей форме:

$$\begin{aligned} A\beta_{11} + B \cdot \beta_{12} + C \cdot 0 &= 0 \\ A\beta_{21} + B \cdot \beta_{22} + C \cdot \beta_{23} &= 0 \\ A\beta_{31} + B \cdot \beta_{32} + C \cdot \beta_{33} &= 0 \end{aligned} \quad (5.26)$$

Однородная система уравнений имеет решение при условии, если определитель системы равен нулю, т.е.

$$\Delta = \begin{vmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & 0 \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \beta_{23} \\ \beta_{31} & \beta_{32} & \beta_{33} \end{vmatrix} = 0, \quad (5.27)$$

где

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta_{11} = a\sqrt{\lambda}\text{Cos}\sqrt{\lambda}aR_0 + (h - \frac{1}{R_0})\text{Sin}\sqrt{\lambda}aR_0 \\ \beta_{12} = -\sqrt{\lambda}a\text{Sin}\sqrt{\lambda}aR_0 + (h - \frac{1}{R_0})\text{Cos}\sqrt{\lambda}aR_0 \\ \beta_{21} = \text{Sin}\sqrt{\lambda}ar_1 \\ \beta_{22} = \text{Cos}\sqrt{\lambda}ar_1 \\ \beta_{23} = -\text{Sin}\sqrt{\lambda}br_1 \\ \beta_{33} = \frac{1}{M}\text{Sin}\sqrt{\lambda}br_1 - K_2\sqrt{\lambda}b\text{Cos}\sqrt{\lambda}r_1 \\ \beta_{31} = \sqrt{\lambda}a\text{Cos}\sqrt{\lambda}ar_1 - \frac{K_1}{r_1}\text{Sin}\sqrt{\lambda}ar_1 \end{array} \right. \quad (5.28)$$

Итак, нами определено уравнение нахождения собственных значений. Как видно из (5.27), оно является трансцендентным:

$$\beta_{32} = -\sqrt{\lambda}a\text{Sin}\sqrt{\lambda}ar_1 - \frac{K_1}{r_1}\text{Cos}\sqrt{\lambda}ar_1$$

$$(-1)^{2+3} \cdot \beta_{23} \begin{vmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{31} & \beta_{32} \end{vmatrix} + (-1)^{3+3} \beta_{33} \begin{vmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{21} & \beta_{22} \end{vmatrix} = 0 \quad \text{или}$$

$$\beta_{23} \cdot \beta_{11} \cdot \beta_{32} - \beta_{23} \cdot \beta_{31} \cdot \beta_{12} + \beta_{33} \cdot \beta_{21} \cdot \beta_{12} - \beta_{33} \cdot \beta_{11} \cdot \beta_{22} = 0 \quad (5.29)$$

Уравнение имеет относительно  $\lambda$  следующий вид:

$$\phi(\lambda, \text{Sin}\sqrt{\lambda}ar_1, \text{Cos}\sqrt{\lambda}ar_1, \text{Sin}\sqrt{\lambda}aR_0, \text{Cos}\sqrt{\lambda}aR_0, \text{Sin}\sqrt{\lambda}br_1, \text{Cos}\sqrt{\lambda}br_1) = 0 \quad (5.30)$$

Полученное это трансцендентное уравнение и его корни определяются с помощью (5.29-5.30) и решаются численно.

Теперь ищем приближенное аналитическое выражение для решения данного уравнения.

1. Рассмотрим случай, когда внутреннюю часть можно рассматривать как изотропную среду, а внешнюю среду достаточно тонкой. Для такой задачи позволительно использовать условие  $\frac{R_0 - r_1}{R_0} \leq 1$  в виде малого параметра

$$\frac{R_0 - r_1}{R_0} \leq \varepsilon, \text{ тогда отсюда,}$$

$$R_0 = \frac{r_1}{1 - \varepsilon} \cong r_1(1 + \varepsilon) + 0(\varepsilon)^2 r_1 \quad (5.31)$$

Используем (5.30) для решения (5.32)

$$\text{Sin}\sqrt{\lambda}aR_0 = \text{Sin}\sqrt{\lambda}a[r_1(1 + \varepsilon)] = \text{Sin}\sqrt{\lambda}ar_1 \cdot \text{Cos}\sqrt{\lambda}a\varepsilon + \text{Sin}\sqrt{\lambda}a\varepsilon \cdot \text{Cos}\sqrt{\lambda}ar_1 \cong \text{Sin}\sqrt{\lambda}ar_1 + \varepsilon a\sqrt{\lambda} \cdot \text{Cos}\sqrt{\lambda}ar_1$$

$$\text{Cos}\sqrt{\lambda}aR_0 = \text{Cos}\sqrt{\lambda}a[r_1(1 + \varepsilon)] = \text{Cos}\sqrt{\lambda}ar_1 \cdot \text{Cos}\sqrt{\lambda}a\varepsilon - \text{Sin}\sqrt{\lambda}ar_1 \cdot \text{Sin}\sqrt{\lambda}a\varepsilon \cong \text{Cos}\sqrt{\lambda}ar_1 - \varepsilon a\sqrt{\lambda} \cdot \text{Sin}\sqrt{\lambda}ar_1$$

В реальных задачах температурная проводимость сырья из-за присутствия насыщенных паров и более высоких температур отличается более высокой температурной проводимостью.

Используем приближение, учитывающее эти соотношения, т.е.  $v = \lambda + \mu a$ ,

где  $\mu$ —мол. величина, то имеем из-за  $v=0$

$$\text{Sin}\sqrt{\lambda}r_1 = \text{Sin}\sqrt{\lambda}r_1\mu \cong \mu r_1\sqrt{\lambda}, \quad \text{Cos}\sqrt{\lambda}r_1 = 1 - 0(\mu)^2 \quad (5.32)$$

Введем  $\omega = \sqrt{\lambda}r_1$  и из (5.28), (5.32) имеем

$$\beta_{11} = \frac{\omega}{r_1} \left[ \text{Sin}\omega + \varepsilon \frac{\omega}{r_1} \text{Cos}\omega \right] + \left( h - \frac{1}{R_0} \right) \left( \text{Sin}\omega + \varepsilon \frac{\omega}{r_1} \text{Cos}\omega \right) = \text{tg}\omega \cdot \text{Cos}\omega \left[ \frac{\omega}{r_1} + h - \frac{1}{R_0} \right] \left( 1 + \varepsilon \frac{\omega}{r_1} \text{tg}\omega \right)$$

$$\beta_{12} = -\frac{\omega}{r_1} \left[ \text{Sin}\omega + \varepsilon \frac{\omega}{r_1} \text{Cos}\omega \right] + \left( h - \frac{1}{R_0} \right) \left( \text{Sin}\omega + \varepsilon \frac{\omega}{r_1} \text{Cos}\omega \right) = -\text{tg}\omega \cdot \text{Cos}\omega \left[ \frac{\omega}{r_1} + h - \frac{1}{R_0} \right] \left( 1 + \varepsilon \frac{\omega}{r_1} \text{tg}\omega \right)$$

$$\beta_{21} = \text{Sin}\omega, \quad \beta_{22} = \text{Cos}\omega, \quad \beta_{23} = -\mu\omega, \quad \beta_{31} = \frac{\omega}{r_1} \text{Cos}\omega - \frac{K_1}{r_1} \text{Sin}\omega$$

$$\beta_{32} = -\omega \text{Sin}\omega - \frac{K_1}{r_1} \text{Cos}\omega, \quad \beta_{33} = \mu \left( \frac{\omega}{r_2} - K_2 \frac{\omega}{r_2} \text{Cos}\omega \right) \quad (5.33)$$

Из (5.30) имеем, в рамках приближения к (5.33),  $\beta_{11} + \beta_{12} = 0$

$$-\mu\omega \{ \beta_{11}\beta_{32} - \beta_{31}\beta_{12} \} + \left( \frac{\omega}{r_2} - K_2 \frac{\omega}{r_1} \text{Cos}\omega \right) (\beta_{21}\beta_{12} - \beta_{11}\beta_{22}) = 0$$

$$-\beta_{11}\mu\omega \left\{ \beta_{32} - \beta_{31} + \left( \frac{\omega}{r_1} - K_2 \frac{\omega}{r_1} \text{Cos}\omega \right) (\beta_{21} - \beta_{22}) \right\} = 0$$

$$\left( -\omega \text{Sin}\omega - \frac{K_1}{r_1} \text{Cos}\omega \right) - \left( \frac{\omega}{r_1} \text{Cos}\omega - \frac{K_1}{r_1} \text{Sin}\omega \right) + \left( \frac{\omega}{r_1} - K_2 \frac{1}{r_1} \text{Cos}\omega \right) (\text{Sin}\omega - \text{Cos}\omega) = 0$$

$$+\omega \text{tg}\omega - \frac{K_1}{r_1} - \frac{\omega}{r_1} + \frac{K_1}{r_1} \text{tg}\omega - \frac{1}{r_1} \text{tg}\omega + \frac{K_2}{r_2} \text{Cos}\omega \text{tg}\omega - \frac{1}{r_1} + \frac{K_2}{r_1} \text{Cos}\omega = 0$$

$$\left( \omega + \frac{1}{r_1} \right) \text{tg}\omega + \frac{K_1}{r_1} \text{Cos}\omega = \frac{\omega}{r_1} - \frac{1}{r_1}$$

$\text{tg}\omega - \omega = \text{const}$  были бы для одной сферы

$$\omega \text{tg}\omega + \frac{K_2 - K_1}{r_1} \text{Cos}\omega = \frac{\omega}{r_1} - \frac{1}{r_1} \quad (5.34)$$

Таким образом, получили, что собственные значения будут осциллировать те же периоды, что и при  $K_2 = K_1$ . До первого корня в зависимости от знака  $K_2 = K_1$ , будет использована «добавка», смещающая корни трансцендентного уравнения, где  $K_2 = K_1$ , т.е. среда без одинаковой теплопроводности. Физически это означает, что изменение теплопроводности приводит к изменению функции описания, причем со сдвигом, соответствующим (5.34).

### 5.3. Выбор и расчет оптимального расположения инфракрасного излучения в сушильной установке

Основным источником нагрева в них являлся электрический ток, преобразующийся в тепловую энергию. В первую очередь, большой расход электрической энергии облучательных установок, а также другие факторы, (как, например, слабая защищенность «светлых» излучателей (электроламп) от попадания брызг или капель) дали толчок к разработке и практическому использованию ИК-излучателей, нагреваемых газом до высоких температур.

Следовательно, наряду с существующим направлением в технике совершенствования конструкций известных источников ИК-излучения возникает необходимость разработки новых конструкций указанных источников, в частности, излучателей, используемых в спектре низкотемпературного диапазона с применением новых источников нагрева тела излучателей (масло, парафин) со смешанным типом излучающей поверхности.

Керамический слой, как было указано выше, благодаря особым свойствам керамики, выполняет функции фильтра-преобразователя.

Слой керамического покрытия пропускает только ИК-излучение длинноволнового диапазона заданного спектра, который зависит от выбранного керамического состава. Масло может быть нагрето до температуры 350 °С (не выше температуры кипения), то есть охватывает низкотемпературный диапазон излучения до 300 °С, в котором изменение рабочей температуры представляет некоторые сложности при использовании известных керамических ИК-излучателей, нагреваемых электрическим током или газом. Температурный предел нагрева ИК-излучателя регулируется температурой нагрева масла, что, в свою очередь, влияет на возможность, как было указано, регулирования смещения максимума в спектре длинноволнового излучения, то есть расширяется возможность подбора необходимого максимума излучения с целью повышения к.п.д. установки.

Решение поставленной задачи достигается тем, что в сушильной установке, содержащей корпус, внутри которого установлены ИК-излучатели, нагревательный элемент которых заключен в трубчатый корпус с внешним функциональным покрытием из керамики, плоские отражатели и размещенные между ними емкости для сушки сырья, корпус излучателя изготовлен из полый металлической трубки, внешняя поверхность которой выполнена с неоднородным функциональным слоем, неравномерным по толщине, которая составляет  $2 \pm 0,5$  мм и с имеющимся металлическими промежутками, составляющими до 20% площади поверхности трубки, а в качестве нагревательного элемента, заключенного в трубчатый корпус излучателя, выбран жидкий теплоноситель с температурой кипения не ниже 350 °С, которым служит разогретое техническое масло или их смеси.

Преимуществом является то, что такой излучатель, имея большую теплоизлучающую поверхность за счет выполнения тела излучателя из металлической трубки и способность за счет неоднородного керамического

покрытия преобразовывать ИК-излучение в длинноволновой спектр, позволит снизить время сушки при хорошем качестве высушенного продукта и не допустить растрескивания верхнего керамического слоя при нагревании корпуса трубчатого излучателя.

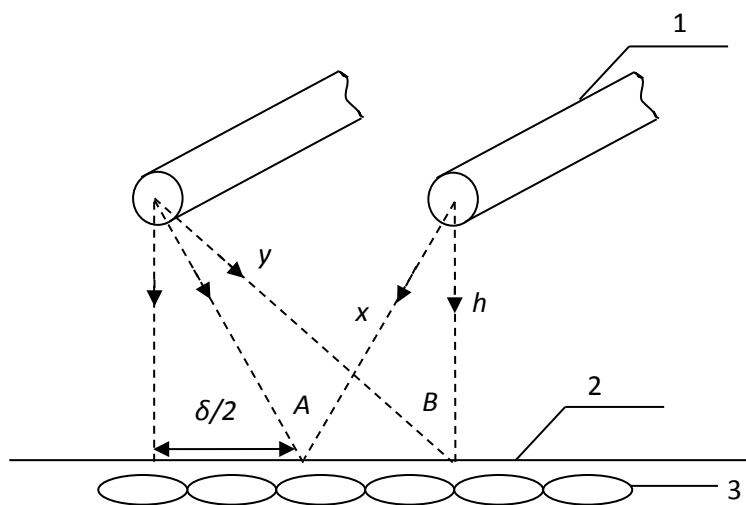
Кроме того, при использовании напыления керамического состава на металлическую излучающую поверхность улучшается сцепление с этой поверхностью при разогреве и, следовательно, повышается надежность облучательной способности ИК-установки [192].

Вблизи излучателей интенсивность падающих лучей достаточно высока по сравнению с теми точками, которые находятся относительно далеко.

Пусть параллельные трубочки нагревают некую плоскость (рисунок 5.3), которая состоит из сеточного материала или перфорированной ленты [192, 198].

Для сравнения облучаемых точек *A* и *B* произведем вычисления. Цилиндрические излучатели способствуют образованию мощности, с

помощью которой осуществляется воздействие  $I = I_0 \cdot \frac{1}{r^2}$ , где *r* – промежуток от оси цилиндра, *I* – мощность излучения на расстоянии *r* от трубки, т.е. энергия излученных инфракрасных волн на расстояние *r*, проходящая через единицу площади за единичное время, *I*<sub>0</sub> – полная мощность излучателя керамической трубки.



*1-излучатели; 2-плоскость сетки; 3-сырье.*

**Рис. 5.3. Инфракрасное поле, создаваемое двумя керамическими параллельными трубочками**

Приведенное выше равенство справедливо, когда расстояние до излучаемой точки велико по сравнению с диаметром излучателя. Допустим, что излучатели между собой расположены так, что это расстояние мало по сравнению с диаметром излучателя. Другим важным фактором в существующих инфракрасных камерах является отрицательный эффект многослойности сушильных сеток, связанный с неоднородностью облучения.

Если радиус излучателя такой, что расстояния между излучателями сравнимы, то возникает эффект суперпозиции излучаемых инфракрасных волн на поверхности облучаемого объекта. Возникает необходимость расчета полученных суммарных излучений для особых точек.

Кроме того, неравномерность покрытий керамических трубок порождает неравномерность излучения на цилиндрических поверхностях излучателей, при этом снижается спектральный состав ИК-излучения и их мощность, излучаемая с единицы площади.

Таким образом, эти два нежелательных фактором можно устранить с помощью соответственно изогнутых металлических отражателей. Очевидно, в

точку  $A$  направлена мощность  $\frac{2I_0}{x^2}$ , а в точку  $B$  –  $\frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{y^2}$ . Заметим, что  $y = h + \sqrt{x^2 - h^2}$ .

При равенстве инфракрасной освещенности в этих двух рассматриваемых точках  $A$  и  $B$  применим принцип суперпозиции для электромагнитных волн:

$$\frac{2I_0}{x^2} = \frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{(h + 2\sqrt{x^2 - h^2})^2} \quad (5.35)$$

Из (5.35) после введения обозначения  $\xi = \frac{x}{h}$  имеем из (5.35)

$$\xi^2 + \xi + 2 = 0. \quad (5.36)$$

Равенство (5.36) показывает, что при всех значениях  $\xi$  оно не равно нулю, т.е. равенство (5.36) не выполняется, так как дискриминант отличен от нуля. Это доказывает невозможность равномерного инфракрасного освещения с помощью обычных дискретных трубочек. Для устранения этой неравномерности предлагается новая система отражателей.

Рассмотрим эти же точки  $A$  и  $B$  с позиции изменения конструкционных параметров. Введем величину  $\delta$  – расстояние между трубочками,  $h$  – расстояние

до поверхности облучения,  $\mu = \frac{\delta}{h}$ , т.е. безразмерную величину в виде отношения межтрубочного расстояния  $\delta$  к величине расстояния до объекта сушки.

Рассмотрим поток мощности энергии в точках  $A$  и  $B$ , т.е.

$$I_B - I_A = \Delta I$$

$$I_B = \frac{I_0}{\delta^2 + h^2} + \frac{I_0}{h^2}, \quad I_A = \frac{2I_0}{h^2 + \frac{\delta^2}{4}}$$

После соответствующих вычислений имеем:

$$\Delta I = I_0 \frac{\mu}{h^2} \frac{1 - \frac{\mu^4}{4}}{1 + \frac{5}{4}\mu^2 + \mu^4} \quad (5.37)$$

при условиях  $\mu \ll 1$ , имеем

$$\Delta I = I_0 \frac{\mu}{h^2} \left[ 1 - \frac{3}{2} \mu^2 \right] \quad (5.38)$$

Пример: если  $h=90$  мм,  $\delta=300$  мм

$$\Delta I = I_0 \cdot 0,0034$$

Указанное выше означает отклонение от равномерности освещения 0,34% для данного случая.

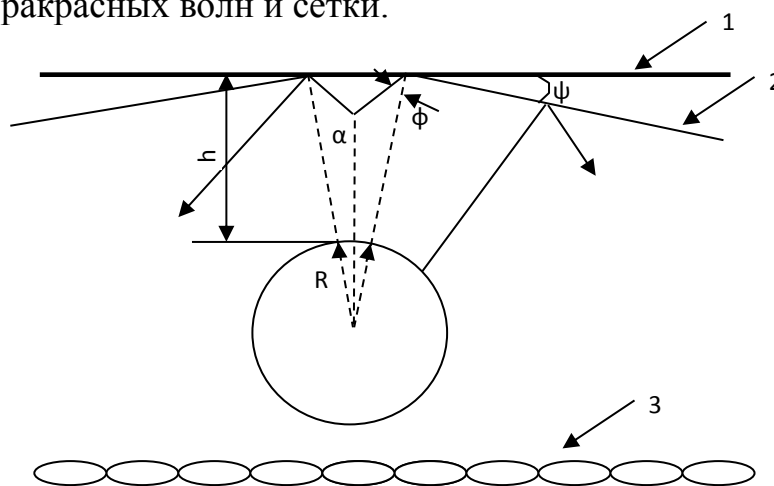
Следует установить, какими должны быть отражатели этих инфракрасных волн?

Расчеты показывают, что наиболее приемлемыми, с практической точки зрения, являются пластинки вдоль трубочек, находящихся над ними. Они должны быть изогнуты и иметь соответствующие размеры и форму, а также располагаться на определенном расстоянии от оси излучателя.

Над керамическими трубочками устанавливаются отражатели легкой металлической конструкции, которые отвечают следующим требованиям:

1. Равномерное распределение инфракрасного освещения над каждой точкой сетки;
2. Снижение себестоимости отражателей за счет оптимальности использования энергии излучения.

Рассмотрим взаимное расположение трубочек диаметром  $R$  и плоского отражателя инфракрасных волн и сетки.



*1-направляющая рама; 2-отражатель; 3-сырье.*

**Рис. 5.4. Схема применения фигурного отражателя**

Отражатель следует искривить внутри зоны так, чтобы отраженные лучи освещали заданные точки освещаемой поверхности. Кроме того, с целью разумного выбора ширины излучения, следует поворачивать плоскость отражения относительно первоначального расположения под некоторым углом  $\Psi$  (рисунок 5.4) [198].

Из геометрических расчетов находим, что

$$\cos \alpha_0 = \frac{1 + \frac{R}{h}}{\sqrt{\left(\frac{R}{h}\right)^2 + \left(1 + \frac{R}{h}\right)^2}} \quad (5.39)$$

Отсюда легко определяется угол  $\alpha$  как функция своих аргументов. Видно, что при  $\frac{R}{h} \ll 1$  имеем приближенную формулу, которая удобна для практических расчетов:

$$\alpha_0 = \arccos \left( 1 - \frac{\varepsilon}{2 + 3\varepsilon} \right), \quad (5.40)$$

где  $\varepsilon = \frac{R}{h}$ .

Сектор излучения, который находится под углом  $\alpha_0$  в цилиндрическом излучателе, не имеет практически полезного эффекта для нагрева продуктов, так как внутри этого сектора инфракрасные волны отражаются на поверхность цилиндра излучателя.

Введём расстояние до необходимой точки сетки, обозначая его проекции величинами  $(x_1 + R + h)$  и  $x_2$ . Отсюда имеем:

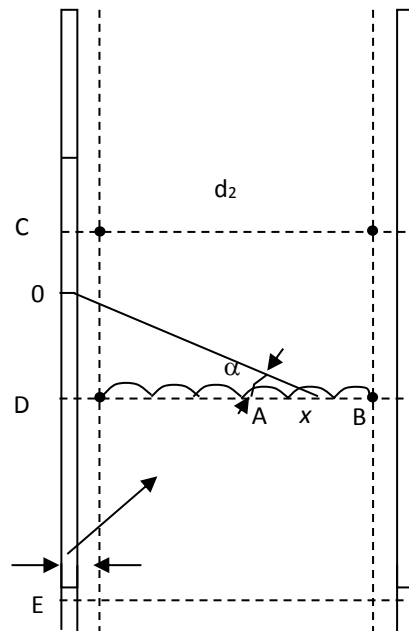
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x_2}{x_1 + R + h} \quad (5.41)$$

В частности, когда расстояние между сетками – 170 мм, диаметр трубочек – 22 мм, расстояние между сеткой и излучателем – 135 мм, расстояние между поверхностью излучателя и наиболее удаленной точкой отражателя – 22 мм:

$$\begin{aligned} \varphi_{\max} &= 27,4^\circ; \\ \varphi_{\min} &= 18,3^\circ; \\ \psi &\leq (\varphi_{\max} - \varphi_{\min}) = 9,1^\circ. \end{aligned} \quad (5.42)$$

Если такие трубочки расположить параллельно, с расстоянием между ними 400 мм, то получим равномерное освещение и соответственно будет достигнуто максимальное использование излучающей поверхности, с учетом суммарной эффективной облучаемости (рисунок 5.5).

Падение инфракрасных лучей под разными углами на обезвоживаемый материал имеет своё преимущество. При перпендикулярном облучении поток лучистой энергии наиболее глубоко проникает к тем частям продукта, поверхности которых перпендикулярны к направлению лучистой энергии. Применение отражателей позволяет создавать более равномерное освещение, потому что создаётся и используется боковое освещение (рисунок 5.5). В произвольной точке  $O$  излучается энергия. Поток лучистой энергии от стенок близлежащих труб направляется на сетки. Получаем неравномерное нагревание.



$A$ -середина сетки по оси  $x$ ; расстояние  $\frac{d_2}{2}$ ,  $B$ -крайняя точка сетки;  
 $\eta$ -расстояние;  $CD$ -участок, который облучает сетку сверху;  $DE$ -участок;  
 которой облучает сетку снизу

**Рис. 5.5. Инфракрасное поле, создаваемое с помощью ряда параллельных вертикальных излучателей**

Поток излучаемой инфракрасными волнами энергии с элементарного участка – бесконечной длины и шириной  $dy$  – по закону распространения волны. В идеале излучается плоский поток энергии, который обозначим величиной  $dI$ . Из рисунку 5.5 видно, что для произвольной точки  $x$  из этого участка излучается энергия  $I_0 \cos \gamma dy$ , где  $I_0$  – мощность стенки единичной ширины. В данном случае, учитывая однородность излучения по третьей координате, можно утверждать, что эта мощность создается единицей длины излучателя – трубки.

Точка  $x$  получает от каждой точки определённую энергию, т.е. интегральная сумма по  $y$  выражает суммарно падающую мощность с участка плоскости излучателя от  $0$  до  $d_1$

$$\phi = \phi(x) = \int_0^{d_1} I_0 \cos \gamma dy. \quad (5.43)$$

С учетом зеркальной симметрии относительно плоскости сетки и равенства температуры излучающего тела по оси  $y$  имеем:

$$\phi = 2I_0 \int_0^d \cos \gamma dy \quad (5.44)$$

Заметим, что расстояние от элементарного участка с высотой  $dy$  на плоскости сетки до излучателя равно  $\sqrt{x^2 + y^2}$ .

$$\cos \gamma = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}.$$

Отсюда следует, что

Вычисляя полученный определённый интеграл, имеем

$$\phi = 4I_0 \left[ \sqrt{1 + \left(\frac{d_1}{x}\right)^2} - 1 \right]$$

Полученное выражение (5.46) отражает поток, падающий на точку с отрезком длиной  $2d_1$ .

Заметим, что для дальних точек  $\left(\frac{d_1}{x} \ll 1\right)$  справедливо выражение в виде:

$$\phi \cong 2\left(\frac{d_1}{x}\right)^2$$

Для тех точек, которые находятся вблизи трубы  $\left(\frac{d_1}{x} \gg 1\right)$ , имеем

$$\phi \approx 4I_0 \sqrt{\frac{x}{d_1}}$$

Нас интересует степень равномерного освещения точек А и В. Поэтому

для точки А имеем с учетом  $x = \frac{d_1}{2}$  и  $x = \frac{d_1}{20}$  следующее соотношение:

$$\left. \phi \right|_{x=\frac{d_1}{2}} : \left. \phi \right|_{x=\frac{d_1}{20}} \approx 1:6$$

$$\left. \phi \right|_{x=\frac{d_1}{20}} = \phi_B = 4I_0(\sqrt{21}-1)$$

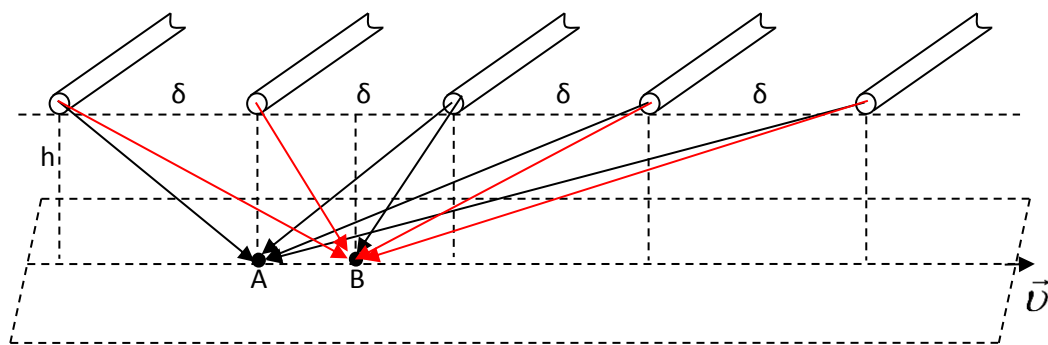
Т.е. наблюдается 6-кратная разница в интенсивности облучения.

Кроме того, заметим, что точка В принимает излучение также со стороны второго ряда излучателей. Излучением при  $d_1 \ll d_2$  можно пренебречь. Исследуем условие равенства для точек А и В, т.е.

$$2\phi \Big|_{x=\frac{d_2}{2}} = \phi \Big|_{x=d_1}$$

Приближенно имеем  $d_2=2,2d_1$ .

Если  $d_1=170$  мм,  $d_2=420$  мм, то при первом приближении равенство (5.50) выполняется (т.е. вертикальное освещение позволяет равномерно облучать продукты лишь при определенных соотношениях взаимного расположения элементов ИК-нагрева) (рисунок 5.6).



$\phi_A$  -поток энергии на участок точки A равен,  $\phi_B$  -поток энергии на участок точки B равен,  $V$ -направление движения сетки со скоростью  $\bar{V}$

**Рис. 5.6. Перпендикулярное инфракрасное облучение продукции расположенными параллельно над ней излучателями**

Рассмотрим две особые точки, когда излучатели расположены перпендикулярно сетки. После некоторых выкладок получим:

$$\phi_A = I_0 \left( \frac{1}{h^2} + \frac{2}{\sqrt{h^2 + \delta^2}} + \dots + \frac{2}{\sqrt{h^2 + n^2 \delta^2}} \right), \quad (5.51)$$

$$\phi_B = I_0 \left[ \frac{2}{\sqrt{h^2 + \frac{\delta^2}{4}}} + \frac{2}{\sqrt{h^2 + \frac{\delta^2}{4}}} + \frac{2}{\sqrt{h^2 + \delta^2 \left(\frac{1}{2} + 2\right)^2}} + \dots + \frac{2}{\sqrt{h^2 + \delta^2 \left(\frac{1}{2} + n\right)^2}} \right]$$

Соотношение интенсивностей потоков энергии имеет вид:

$$\frac{\phi_A}{\phi_B} = \frac{1 + \sum_1^N \frac{2}{\sqrt{1 + n^2 \frac{\delta^2}{h^2}}}}{\sqrt{1 + \frac{\delta^2}{h^2} \frac{1}{4}} + \sum_1^N \frac{2}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{2} + n\right)^2 \frac{\delta^2}{h^2}}}}, \quad (5.52)$$

где  $M=1,2,3,\dots, N$  – количество излучателей.

В (5.52) основным параметром является соотношение  $\delta/h$ .

В результате заложены основы для рационального выбора инфракрасного поля в сушильные камеры как при использовании горизонтальных и вертикальных излучателей. Получены взаимоотношения, определяющие параметры конструкции установки. Решение задачи равномерного освещения обеспечивает режим энергосбережения и сохранения биоактивных веществ в обезвоживаемых, продуктах. За счет рационального распределения энергии ИК-излучения, уменьшения перегрева продукции в отдельных участках а также за счет применения системы отражателей, с учетом  $N$ ,  $\delta$  и  $h$  снижены тепловые потери на 10-15% и достигнута интенсификация процесса на 13-15%, проявившаяся в укорочении времени сушки. Сравнительные расчеты взяты для

параметров  $N$ ,  $\delta$  и  $h$  сушильных установок ЭСПИ-П и исследуемой.

Если технологический процесс требует плавного регулирования нагрева в более широком температурном диапазоне, то в качестве теплоносителя был использован парафин. Парафин является промежуточным продуктом нефтеперерабатывающей промышленности с температурой плавления  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  и может быть нагрет до температуры  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$  (не выше температуры кипения), то есть температурный предел соответственно регулируется в более широком температурном диапазоне.

#### **5.4. Исследование нелинейного уравнения тепломассообмена в природных средах при инфракрасном нагреве**

Рассмотрим явление теплопереноса в условиях инфракрасного нагрева и возникающий при этом температурный градиент в продукции, имеющей толщину с глубиной проникновения ИК-излучения с учетом теплопроводности внутрь сырья.

Процессы обезвоживания продукции (пасты, пюре, лекарственные экстракты, хлопок и различные семена) являются нелинейными. В частности, в работе [412] показано, что коэффициент теплопроводности для растительных материалов выражается в следующем виде:

$$\lambda^* = \lambda_0^* [1 + 4,4 \cdot 10^{-2} \cdot u], \quad (5.53)$$

где  $\lambda^*$  – коэффициент теплопроводности при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$u$  – температура среды по шкале Цельсия.

Задача усложняется тем, что испарение и нагрев данного тела происходят под действием проникающих инфракрасных волн. Пусть спектр последних таков, что достигается достаточно глубокое проникновение в материал, и процесс убывания его мощности описывается с помощью известных законов поглощения электромагнитных волн в средах с микронеоднородностями [413]:

$$I = I_0 e^{-\alpha|x|}, \quad (5.54)$$

где  $\alpha$  – коэффициент затухания ИК-волн для данной среды;  $I_0$  – полная мощность излучателя керамической трубки;  $x$  – глубина расстояния, проникающая ИК-волной в данной среде, мм.

Закон испарения описывается функцией  $q(t)$ , т.е. за единицу времени с единицы поверхности тела уходит энергия тепловой мощности  $q$ , связанная с испарением влаги. В итоге, после небольших преобразований, получим уравнение:

$$c\rho u_t = \lambda_0^* [(1 + \varepsilon u)u_x]_x + I_0 e^{-\alpha x} - q(t)u /_{x=l}, \quad (5.55)$$

где  $c$ -теплоемкость среды;  $\rho$ -плотность среды;  $q$ -плотность мощности энергии, подаваемой на нижнюю границу;  $\varepsilon$ -коэффициент нелинейности;  $c\rho u_t$ -изменение количества тепловой энергии за единицу времени;  $\lambda_0^*(1 + \varepsilon u)u_x$ -количество теплового потока, проходящего через плоскость, определяемую координатой  $x$  в момент времени  $t$ ;  $\lambda_0^*[(1 + \varepsilon u)u_x]_x$ -изменение теплового потока, связанное с теплопроводностью среды;  $I_0 e^{-\alpha x}$ - мощность ИК-облучения единичной поверхности, которая описывается по известному закону поглощения электромагнитных волн в средах (закон Бугера-Ламберта) [414];  $q(t)u /_{x=l}$ - мощность испарения поверхности слоя толщиной  $l$ .

Теплопроводность  $\lambda_0^*$  и теплоемкость являются одними из важных характеристик, используемых в расчете тепловых режимов сушки, в данном случае связаны в нелинейном уравнении (5.55). Это уравнение в общем виде не имеет аналитического решения. Если считать, что первоначальная тепловая энергия тела намного меньше энергии испаряемой влаги, можно найти стационарное решение (5.55). При  $q = const$  получим уравнение:

$$\lambda_0^* [(1 + \varepsilon u)u_x]_x = I_0 e^{-\alpha x} + qu /_{x=l}, \quad (5.56)$$

и его решение для установившегося процесса имеет вид:

$$u = u^{\varepsilon} + \left( \frac{2\varepsilon}{\lambda_0^*} \right)^{1/2} [I_0 (I_0 e^{-\alpha x}) + q\varphi /_{x=0} \cdot x]^{1/2}, \quad (5.57)$$

где  $\varphi /_{x=0}$  - известная функция, задаваемая начальными условиями задачи,  $u^{\varepsilon}$  - решение при  $\varepsilon=0$ .

Вместе с тем, предполагая условия стационарности, мы фактически закладываем некий баланс тепловых мощностей испарения и нагрева.

Эксперименты показывают, что при сушке продукции температурное распределение будет иметь минимальный градиент, если мощности испарения и нагрева близки, что и показывает решение уравнения (5.56). Но, тем не менее, при более глубоких исследованиях следует учесть, что  $q(t)$  является функцией температуры и влажности, т.е.  $q=(u,t)$ .

В итоге приходим к тому, что нелинейность процессов образует более резкие перепады температур внутри нагреваемых и обезвоживаемых тел [415-420].

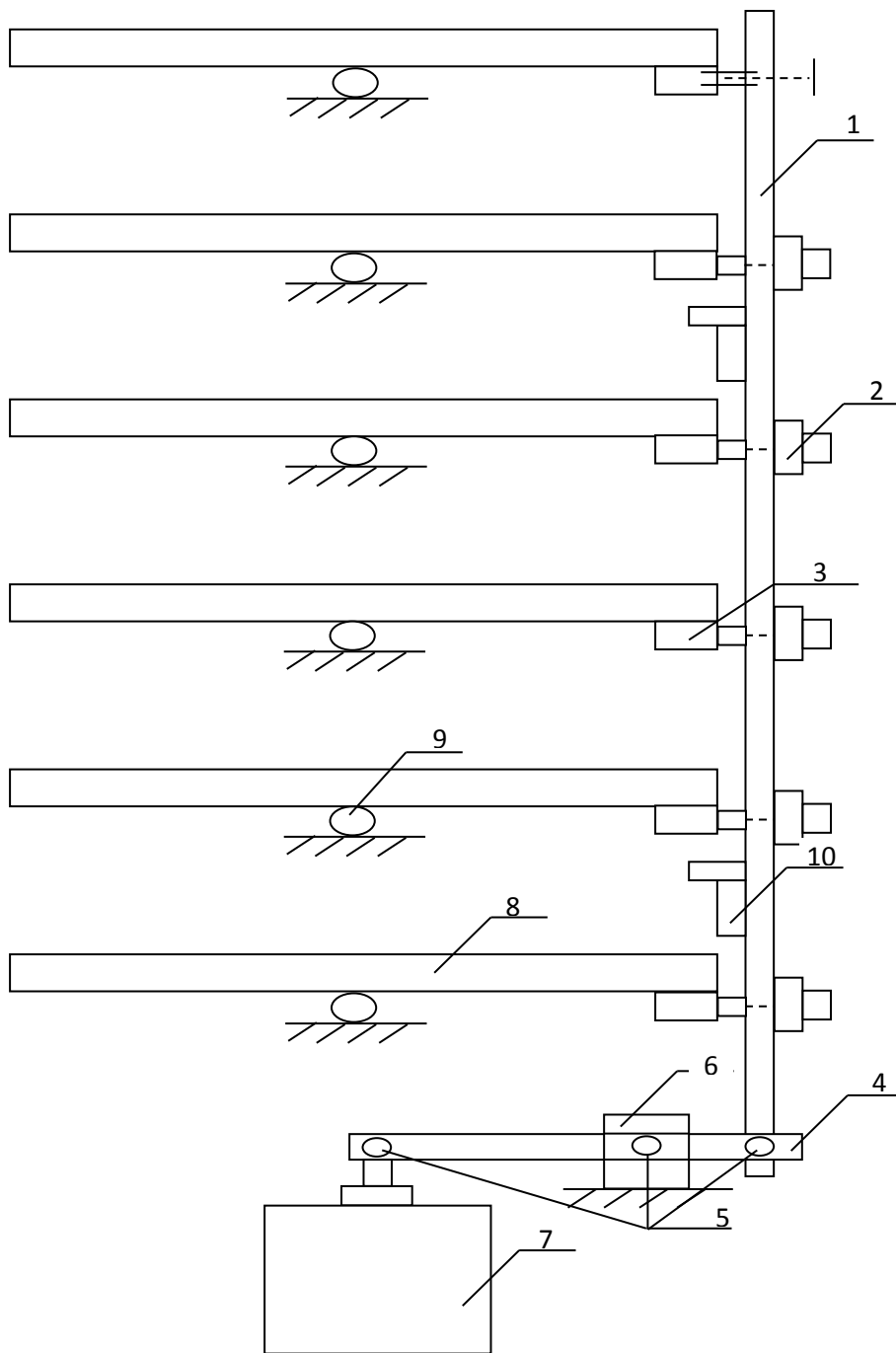
## 5.5. Первый вариант лабораторного вибромеханизма в сушильной камере

Для создания низкочастотных механических колебаний обезвоживаемой продукции в стационарных сушилках в отличие от конвейерных можно предложить различные механизмы, создающие поступательные или вращательные движения. Основным назначением этих механизмов должно быть создание вертикальных колебаний горизонтально расположенных рабочих полок. Первые положительные результаты с разработками сушильных камер, внутри которых располагались сушильные шкафы с ИК-нагревателями, дали исходные параметры для разработки вибро-механизмов [421-422]. Исходные параметры (и.п.):

1. Размер шкафа 2,0x0,8x1,0 м;
2. В шкафу рабочих полок 6 шт.;
3. Расстояние между полками 22-24 см;
4. Размеры рабочих полок 45x65 см;
5. На каждом поддоне размещается кокон 0,5 кг;
6. Электропитание камеры 220 Вт. Мощность излучателей 3 кВт для полного шкафа;
7. Температура внутри камеры достигает до +65-75 °С.

Из вышеперечисленных параметров формируются эксплуатационные характеристики планируемого вибромеханизма.

При максимальной загрузке каждого шкафа вес продукции с полками достигает 3 кг. Если создавать колебательные движения только с одной стороны рабочих полок при фиксированном положении другой стороны, вибрации по полю рабочих полок неравномерны. Это отразится и на потребляемой мощности вибро-механизма. С другой, очень важной стороны, отразится на качестве обезвоживаемого продукта. Для создания минимальной нагрузки на рабочее тело и равномерного механического движения полок исполнителями проекта был предложен вибромеханизм, где рабочим телом является электромагнитная катушка на базе втягивающего сердечник дросселя (рисунок 5.7). Рабочие полки при расположении в сушильном шкафу имеют ролик качения (9) в центральной нижней части. При таком расположении продукция на рабочих полках (8) находится в относительном равновесии и для электромагнитной катушки необходим минимум усилий для раскачивания полок.

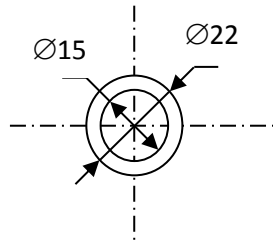
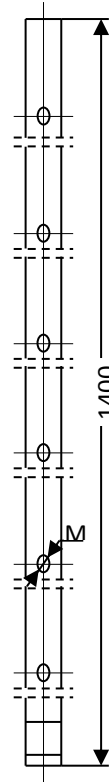
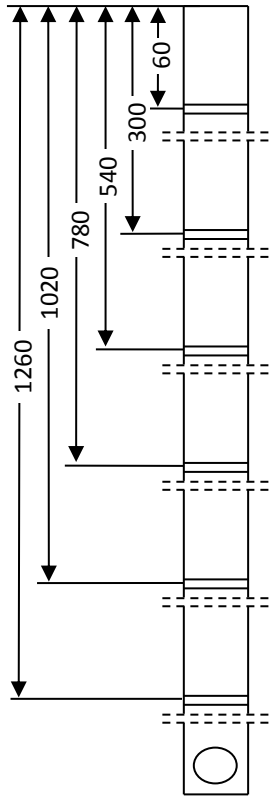


1-штанга; 2-шпилька М6х45х25; 3-рабочая втулка; 4-рычаг механизма; 5-ось рычага; 6-стойка рычага; 7-электромагнитная катушка; 8-рабочая полка; 9-ролик качения полки; 10-шарнир

**Рис. 5.7. Общий вид лабораторного вибромеханизма**

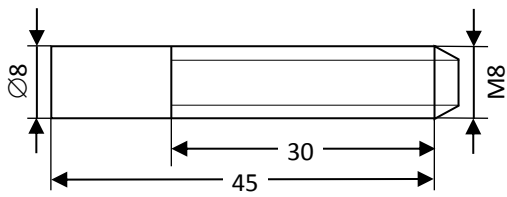
Учитывая, что необходим минимум вспомогательных движений для обслуживающего оператора, закрепление рабочих полок к движущей штанге (1) осуществляется фиксированием шпильки (2). Электромагнитная катушка (7) фиксируется на нижней части шкафа (рисунок 5.8).

**Поз №1.**



Штанга 1 шт. Масштаб 1:2

**Поз.№2**

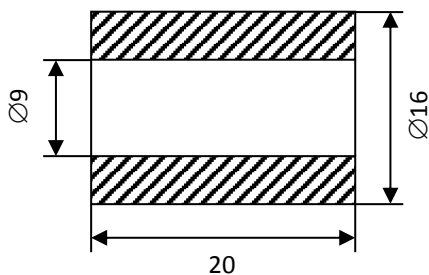


Всего 6 комплектов

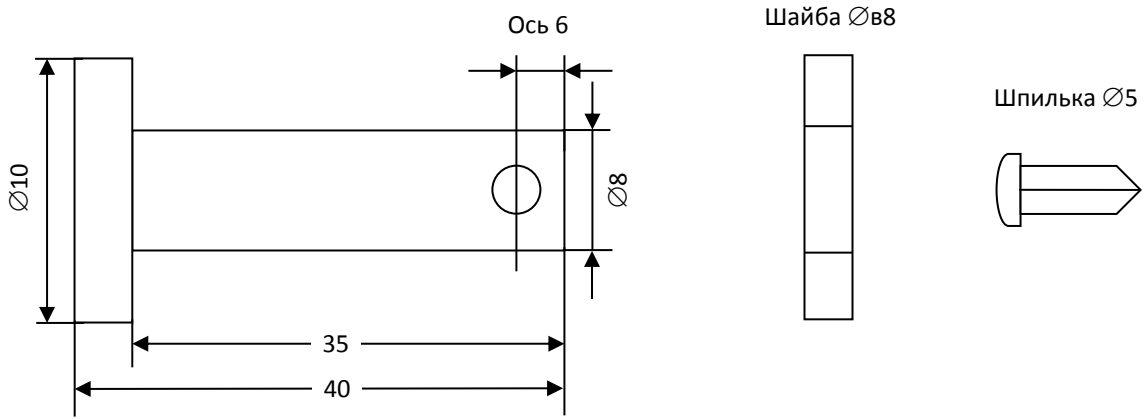
Масштаб 1:1

**Поз.№3**

Втулка (рабочая) 6 шт. Масштаб 1:1



**Поз.№5**

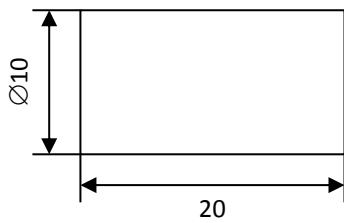


Всего 3 комплекта

Масштаб 1:1

**Поз.№9**

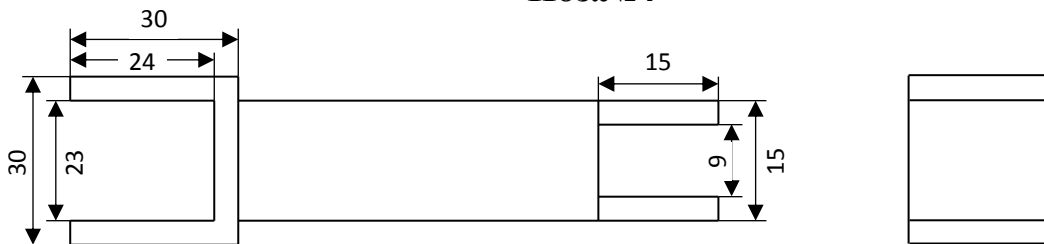
Ролик



Ролик 12 шт.

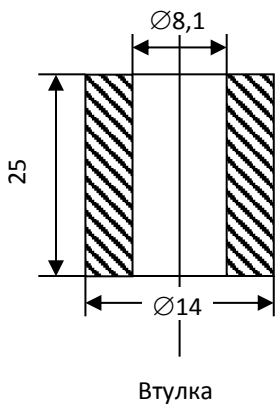
Масштаб 1:1

**Поз.№4**



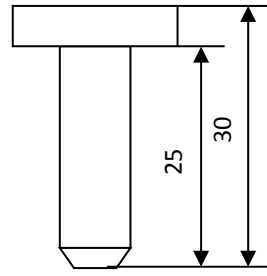
Рычаг 1 шт.

Масштаб 1:1



Втулка

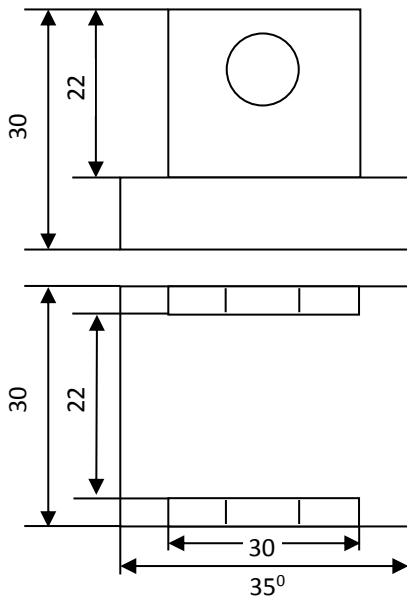
Поз.№10



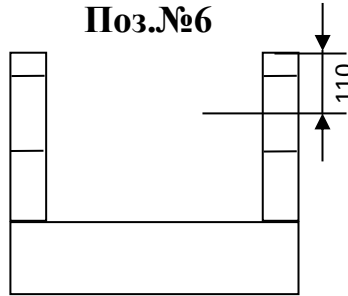
Палец

Шарнир 2 комплекта

Масштаб 1:1



Поз.№6



Стойка 1 шт.

Масштаб 1:1

Рис. 5.8. Детали вибромеханизма

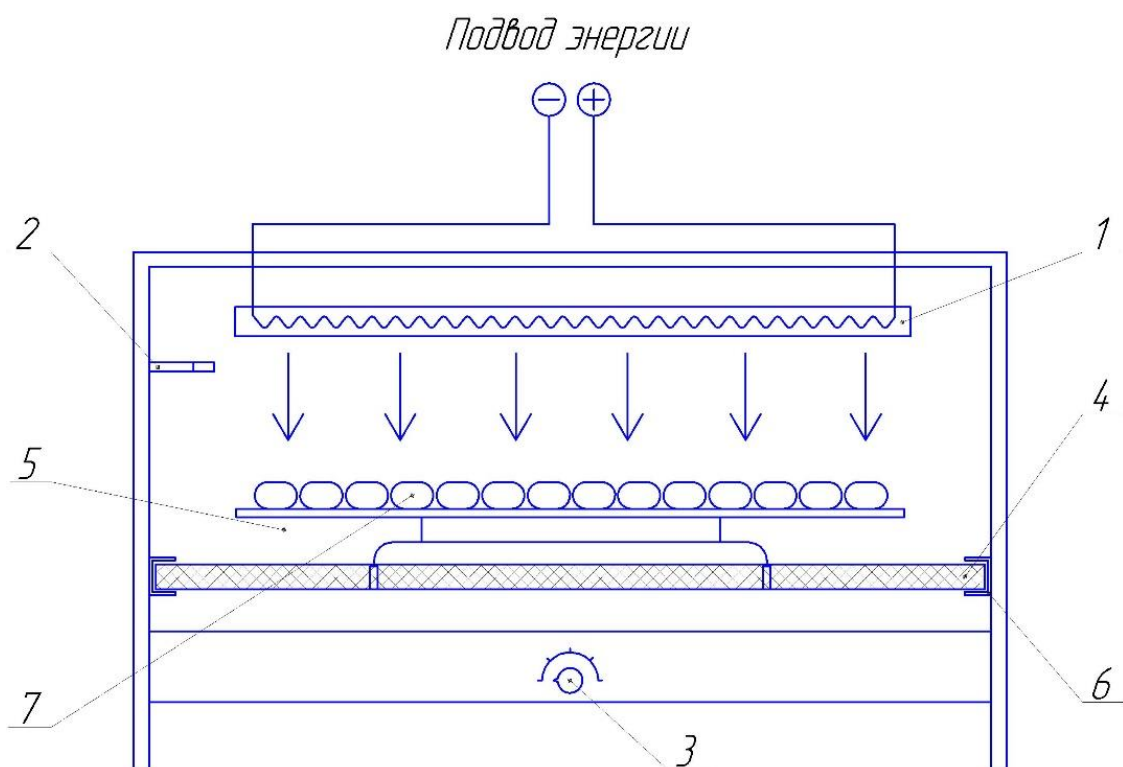
## **ГЛАВА 6. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ КОКОНОВ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА**

### **6.1. Экспериментальные исследования процесса морки и сушки коконов тутового шелкопряда**

Сушка – тепловой процесс обезвоживания продуктов путем испарения влаги и отвода образующихся паров. При этом в веществе происходит перенос тепла и диффузионное перемещение влаги. Процесс сушки используется во многих отраслях производства. Предлагаемая технология сушки коконов тутового шелкопряда с использованием низкой температуры с помощью инфракрасного излучения, упругих волн, вибрации и конвективного теплоподвода является одним из наиболее инновационных и более подходящих способов сушки. Развитие подобного оборудования – довольно перспективное направление. Технологические особенности данного процесса способствуют достижению эффективной морки и качественной сушки коконов тутового шелкопряда. Дополнительно ставится задача получения новых качеств в готовом продукте. Для достижения этих целей необходимо применение соответствующего эффективного энергосберегающего оборудования с использованием низкой температуры, при которой получаемое сырьё для текстильной промышленности сохраняет свои качество и внешний вид [423-428].

На основе полученных теоретических результатов разработана экспериментальная инфракрасная вибрационная установка в Ташкентском государственном техническом университете, позволяющая провести процесс морки и сушки оптимальных параметров перерабатываемых коконов тутового шелкопряда (рисунок 6.1) [429-435].

Данная установка позволяет проводить исследования: расчёт технологического процесса предварительной переработки живого шелкопряда с помощью инфракрасных лучей; анализ акустических и вибрационных эластических волн и низкой температуры; проведение работ, направленных на энергоэффективность установки; управление технологическими процессами энергосберегающей и работающей при низких температурах установки с целью высоко качественных продуктов. Данным способом выполняются расчёты технологического процесса предварительной переработки живого шелкопряда с инфракрасными лучами, тем самым достигается энергия сбережения и повышения качества продукта [436-438].



1-ИК нагреватель; 2-термопара; 3-терморегулятор; 4-поддон;  
5-весы с цифровым индикатором; 6-подставка; 7-сырье.

**Рис. 6.1. Лабораторно-экспериментальная ИК-сушильная установка**

В лаборатории кафедры проведено натурное испытание для морки и сушки коконов тутового шелкопряда (рисунок 6.2-6.5).



**Рис. 6.2. Первичная переработка коконов тутового шелкопряда с помощью ИК-нагрева**



**Рис. 6.3. Первичная переработка коконов тутового шелкопряда с помощью СВЧ**

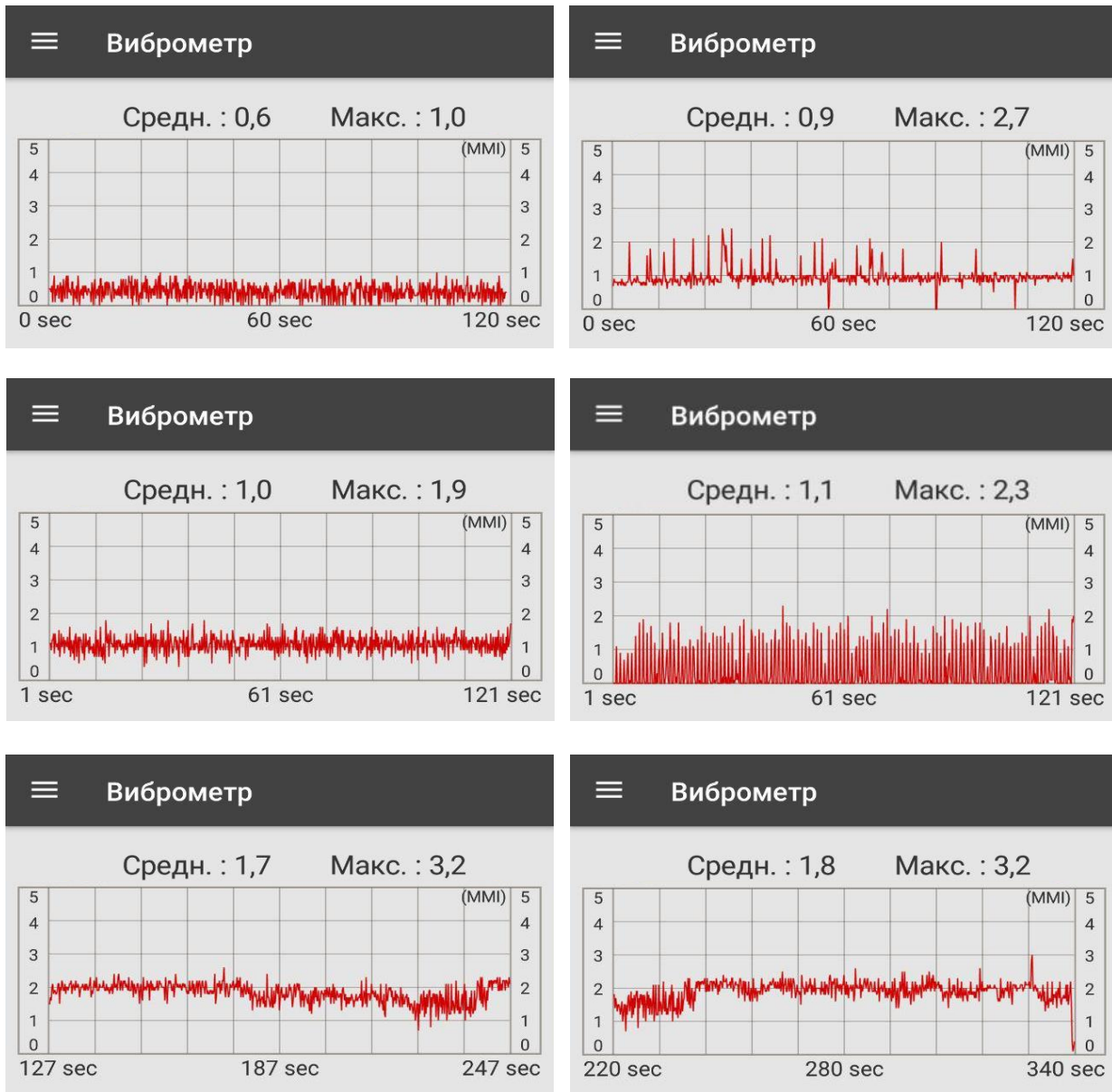


**Рис. 6.4. Первичная переработка коконов тутового шелкопряда с помощью горячего воздуха (конвективная)**



**Рис. 6.5. Первичная переработка коконов тутового шелкопряда с помощью ИК-вибрации**

Результаты процесса воздействия вибрации на морку и сушку коконов тутового шелкопряда приведены на рисунке 6.6.



**Рис. 6.6. Процесс вибрации во время первичной переработки коконов тутового шелкопряда**

На рисунке 6.7 приведен результат многократных экспериментов и отобранная вариация динамики виброскорости, к которой подавались коконы при морке и сушке тутового шелкопряда [439-441].



А

Б

*А-живого кокона; Б-морки кокона.*

**Рис. 6.7. Переработка морки и сушки тутового шелкопряда**



1



2



3



4



5



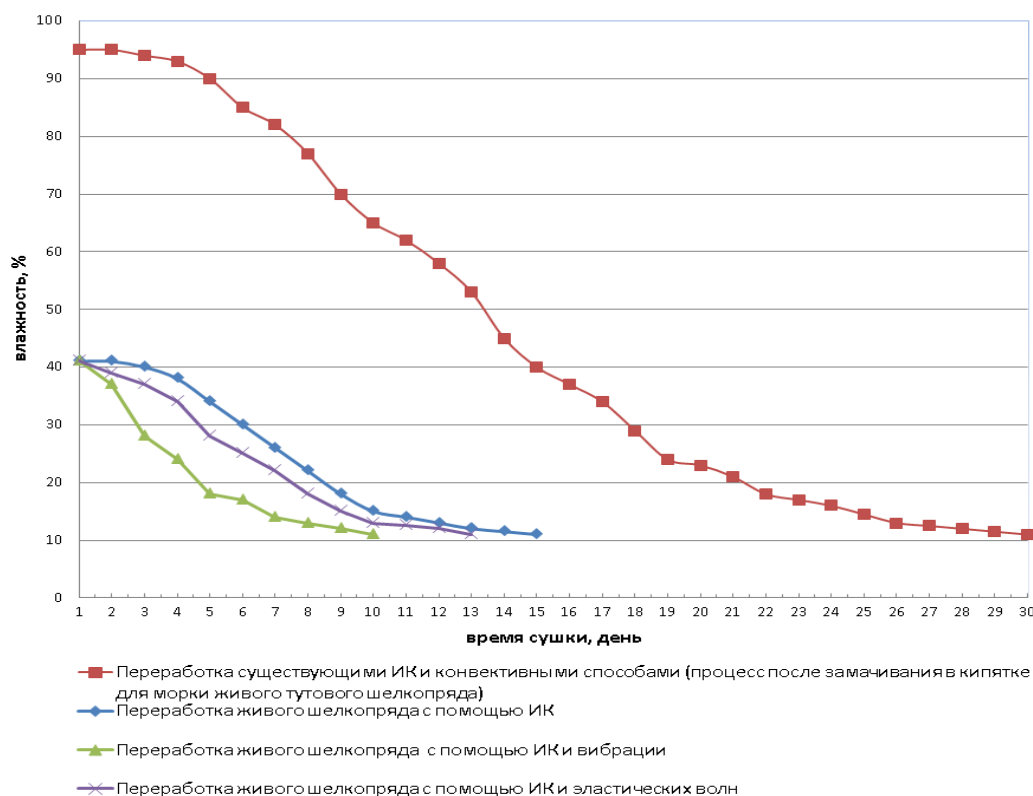
6



7

*1-методом СВЧ; 2-методом заморзания; 3-методом ИК-нагрева при температуре 55-60 °С; 4-методом ИК-нагрева при температуре 60-65 °С; 5-методом ИК-нагрева при температуре 65-70 °С; 6-методом ИК-нагрева при температуре 75-85 °С; 7-методом вибрации и ИК-нагрева при температуре 60-65 °С*

**Рис. 6.8. Результаты исследований экспериментов морки и сушки коконов тутового шелкопряда**



**Рис. 6.9. Кривая линия предварительной обработки живого шелкопряда**

## 6.2. Результаты лабораторно-экспериментальных исследований

Полученные результаты лабораторно-экспериментальных исследований морки и сушки коконов тутового шелкопряда приведены в таблице 6.1-6.53 [442-445].

**Таблица 6.1**

**№1. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесса переработки, мин	Расстояния между ИК-излучателем и поддоном, см
1	Живого шелкопряда	49.9	23	46.1	31.2	55	60	10
2		50.3	23	46.6	30.5	60	60	10
3		50.1	23	45.8	30.0	65	60	10
4		50.2	23	45.2	29.8	70	60	10
5		49.7	23	44.8	29.5	75	60	10
6		50.2	23	44.3	29.1	80	60	10

Таблица 6.2

**№1. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесса переработки, мин	Расстояние между ИК-излучателем и поддоном, см
1	Живого шелкопряда	50.2	23	46.7	30.6	55	90	10
2		49.9	23	45.8	30.2	60	90	10
3		50.3	23	44.9	29.7	65	90	10
4		50.1	23	44.6	29.4	70	90	10
5		49.8	23	43.9	28.9	75	90	10
6		50.1	23	43.5	28.6	80	90	10

Таблица 6.3

**№1. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесса переработки, мин	Расстояние между ИК-излучателем и поддоном, см
1	Живого шелкопряда	50.4	23	44.7	29.8	55	120	10
2		49.7	23	43.9	29.4	60	120	10
3		50.2	23	43.1	29.1	65	120	10
4		49.3	23	42.2	28.6	70	120	10
5		49.8	23	41.5	28.2	75	120	10
6		50.3	23	40.6	26.4	80	120	10

Таблица 6.4

**№2. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесса переработки, мин	Расстояния между ИК-излучателем и поддоном, см
1	Живого шелкопряда	50.5	23	46.7	31.5	55	60	15
2		49.8	23	46.9	30.9	60	60	15
3		49.2	23	46.2	30.5	65	60	15
4		50.2	23	45.8	30.2	70	60	15
5		49.5	23	45.1	29.9	75	60	15
6		49.6	23	44.5	29.6	80	60	15

Таблица 6.5

**№2. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесса переработки, мин	Расстояния между ИК-излучателем и поддоном, см
1	Живого шелкопряда	50.2	23	46.1	31.5	55	90	15
2		49.9	23	46.2	30.8	60	90	15
3		50.3	23	45.4	30.6	65	90	15
4		50.1	23	44.9	30.2	70	90	15
5		49.8	23	44.3	30.0	75	90	15
6		50.1	23	43.8	29.5	80	90	15

Таблица 6.6

**№2. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесса переработки, мин	Расстояние между ИК-излучателем и поддоном, см
1	Живого шелкопряда	50.4	23	45.6	30.3	55	120	15
2		49.7	23	44.8	30.1	60	120	15
3		50.2	23	43.7	29.6	65	120	15
4		49.3	23	43.2	29.0	70	120	15
5		49.8	23	42.4	28.6	75	120	15
6		50.3	23	41.9	26.8	80	120	15

Таблица 6.7

**№3. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесса переработки, мин	Расстояние между ИК-излучателем и поддоном, см
1	Живого шелкопряда	49.8	23	48.1	31.8	55	60	20
2		50.5	23	46.7	31.2	60	60	20
3		50.1	23	46.1	30.7	65	60	20
4		49.5	23	46.4	30.5	70	60	20
5		49.2	23	46.1	30.2	75	60	20
6		50.3	23	45.8	29.8	80	60	20

Таблица 6.8

**№3. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесса переработки, мин	Расстояния между ИК-излучателем и поддоном, см
1	Живого шелкопряда	50.2	23	46.8	31.0	55	90	20
2		49.9	23	46.2	30.6	60	90	20
3		50.3	23	46.7	30.2	65	90	20
4		50.1	23	45.9	30.0	70	90	20
5		49.8	23	45.4	29.5	75	90	20
6		50.1	23	44.9	29.0	80	90	20

Таблица 6.9

**№3. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесса переработки, мин	Расстояния между ИК-излучателем и поддоном, см
1	Живого шелкопряда	50.4	23	46.5	30.3	55	120	20
2		49.7	23	45.3	29.7	60	120	20
3		50.2	23	44.8	29.2	65	120	20
4		49.3	23	44.2	29.0	70	120	20
5		49.8	23	43.8	28.5	75	120	20
6		50.3	23	43.1	28.1	80	120	20

Таблица 6.10

**№4. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов с помощью вибрации по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработка, г	Масса после 10 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесс переработки, мин	Расстояния между ИК излучатель и поддона, см	Частота вибрации, кГц
1	Живого шелкопряда	49.5	23	43.8	28.8	55	60	10	1
2		50.2	23	43.1	28.3	60	60	10	1
3		49.6	23	42.5	28.0	65	60	10	1
4		50.4	23	41.7	26.6	70	60	10	1
5		50.3	23	41.2	26.2	75	60	10	1
6		49.8	23	40.2	26.7	80	60	10	1

Таблица 6.11

**№4. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов с помощью вибрации по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработка, г	Масса после 10 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесс переработки, мин	Расстояния между ИК излучатель и поддона, см	Частота вибрации, кГц
1	Живого шелкопряда	49.7	23	43.2	28.3	55	90	10	1
2		49.6	23	42.1	28.0	60	90	10	1
3		50.2	23	41.3	26.5	65	90	10	1
4		50.5	23	40.8	26.1	70	90	10	1
5		50.1	23	40.2	26.7	75	90	10	1
6		49.8	23	39.7	26.0	80	90	10	1

Таблица 6.12

**№4. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов с помощью вибрации по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработка, г	Масса после 10 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесс переработки, мин	Расстояния между ИК излучатель и поддона, см	Частота вибрации, кГц
1	Живого шелкопряда	50.0	23	41.1	26.2	55	120	10	1
2		49.8	23	40.3	26.7	60	120	10	1
3		49.2	23	39.8	26.1	65	120	10	1
4		49.7	23	39.1	25.7	70	120	10	1
5		50.2	23	38.2	25.4	75	120	10	1
6		49.0	23	36.2	25.1	80	120	10	1

Таблица 6.13

**№5. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов с помощью вибрации по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработка, г	Масса после 10 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесс переработки, мин	Расстояния между ИК излучатель и поддона, см	Частота вибрации, кГц
1	Живого шелкопряда	50.5	23	43.5	28.6	55	60	15	2
2		49.6	23	43.0	28.1	60	60	15	2
3		49.0	23	42.3	26.7	65	60	15	2
4		50.5	23	41.6	26.2	70	60	15	2
5		49.5	23	41.1	26.0	75	60	15	2
6		49.4	23	40.2	26.5	80	60	15	2

Таблица 6.14

**№5. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов с помощью вибрации по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработка, г	Масса после 10 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесс переработки, мин	Расстояния между ИК излучатель и поддона, см	Частота вибрации, кГц
1	Живого шелкопряда	50.2	23	43.5	28.4	55	90	15	2
2		49.9	23	43.1	28.0	60	90	15	2
3		50.3	23	42.7	26.6	65	90	15	2
4		50.1	23	41.1	26.2	70	90	15	2
5		49.8	23	40.6	26.0	75	90	15	2
6		50.1	23	40.2	26.6	80	90	15	2

Таблица 6.15

**№5. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов с помощью вибрации по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработка, г	Масса после 10 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесс переработки, мин	Расстояния между ИК излучатель и поддона, см	Частота вибрации, кГц
1	Живого шелкопряда	50.0	23	42.1	28.1	55	120	15	2
2		50.5	23	41.5	26.6	60	120	15	2
3		50.2	23	40.2	26.5	65	120	15	2
4		49.0	23	39.6	26.2	70	120	15	2
5		49.4	23	39.0	25.8	75	120	15	2
6		50.3	23	38.2	25.5	80	120	15	2

Таблица 6.16

**№6. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов с помощью вибрации по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработка, г	Масса после 10 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесс переработки, мин	Расстояния между ИК излучателем и поддона, см	Частота вибрации, кГц
1	Живого шелкопряда	50.3	23	44.5	29.4	55	60	20	3
2		50.0	23	43.0	28.5	60	60	20	3
3		49.5	23	42.6	28.0	65	60	20	3
4		49.8	23	41.3	26.3	70	60	20	3
5		49.0	23	40.7	26.0	75	60	20	3
6		50.8	23	40.3	26.5	80	60	20	3

Таблица 6.17

**№6. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов с помощью вибрации по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработка, г	Масса после 10 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесс переработки, мин	Расстояния между ИК излучателем и поддона, см	Частота вибрации, кГц
1	Живого шелкопряда	49.5	23	44.1	29.5	55	90	20	3
2		49.6	23	43.3	28.6	60	90	20	3
3		50.0	23	43.0	28.2	65	90	20	3
4		49.7	23	42.2	26.6	70	90	20	3
5		49.0	23	41.4	26.0	75	90	20	3
6		50.6	23	40.7	26.4	80	90	20	3

Таблица 6.18

**№6. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов с помощью вибрации по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и поддоном**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 10 дней, г	Температура во время переработки, °С	Время процесса переработки, мин	Расстояние между ИК-излучателем и поддоном, см	Частота вибрации, кГц
1	Живого шелкопряда	49.2	23	42.8	26.7	55	120	20	3
2		49.5	23	42.2	26.2	60	120	20	3
3		50.5	23	41.8	26.7	65	120	20	3
4		49.0	23	40.0	26.0	70	120	20	3
5		49.4	23	39.2	25.8	75	120	20	3
6		50.8	23	38.4	25.2	80	120	20	3

Таблица 6.19

**№1. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 50-55 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	116.2	100	110.4	79.0	5
2		113.9	100	106.1	76.5	5
3		108.9	100	101.6	74.1	5
4		115.8	100	110.5	78.7	5
5		112.5	100	106.0	76.5	5

Таблица 6.20

**№1. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 50-55 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	109.5	100	103.2	74.5	15
2		115.6	100	109.6	80.9	15
3		112.3	100	106.5	76.5	15
4		110.0	100	104.1	73.7	15
5		116.4	100	110.7	82.6	15

Таблица 6.21

**№1. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 50-55 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	116.2	100	109.4	79.7	30
2		112.8	100	104.9	79.0	30
3		116.5	100	108.2	80.4	30
4		109.6	100	101.6	73.4	30
5		111.0	100	104.0	78.8	30

Таблица 6.22

**№1. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 50-55 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	110.6	100	102.3	75.2	60
2		118.4	100	110.2	82.9	60
3		106.9	100	98.6	74.5	60
4		115.4	100	106.5	76.3	60
5		111.0	100	103.3	78.8	60

Таблица 6.23

**№1. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 50-55 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	109.6	100	99.4	74.5	90
2		116.0	100	106.5	81.2	90
3		110.2	100	101.2	76.0	90
4		112.7	100	103.2	75.5	90
5		116.1	100	106.3	83.1	90

Таблица 6.24

**№1. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 50-55 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	118.0	100	106.2	80.2	120
2		110.6	100	99.2	76.4	120
3		112.7	100	102.4	76.8	120
4		116.5	100	106.0	78.7	120
5		108.4	100	98.5	76.0	120

Таблица 6.25

**№1. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 50-55 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	116.9	100	105.7	80.2	150
2		108.0	100	96.2	75.6	150
3		112.2	100	100.3	76.4	150
4		116.4	100	104.4	78.0	150
5		113.6	100	101.3	80.7	150

Таблица 6.26

**№2. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 60-65 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	116.6	100	111.0	79.3	5
2		110.4	100	104.5	76.3	5
3		116.2	100	111.9	80.9	5
4		108.1	100	101.7	72.4	5
5		114.7	100	108.6	81.4	5

Таблица 6.27

**№2. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 60-65 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	118.6	100	106.7	80.6	15
2		110.5	100	103.4	76.4	15
3		116.8	100	109.8	80.6	15
4		112.3	100	105.9	75.2	15
5		115.7	100	108.5	82.1	15

Таблица 6.28

**№2. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 60-65 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	115.5	100	106.4	78.5	30
2		116.2	100	110.5	82.0	30
3		114.3	100	108.0	78.9	30
4		112.2	100	105.2	75.2	30
5		108.7	100	102.1	76.2	30

Таблица 6.29

**№2. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 60-65 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	116.8	100	108.2	80.1	60
2		110.6	100	101.3	76.4	60
3		114.2	100	105.4	78.8	60
4		106.0	100	98.7	71.7	60
5		116.4	100	106.5	82.6	60

Таблица 6.30

**№2. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 60-65 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	114.7	100	103.5	78.0	90
2		116.2	100	106.0	82.0	90
3		108.3	100	96.5	74.7	90
4		116.0	100	105.4	76.7	90
5		110.6	100	98.8	78.5	90

Таблица 6.31

**№2. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 60-65 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	118.2	100	106.4	80.4	120
2		115.7	100	103.7	81.0	120
3		109.6	100	96.7	75.6	120
4		116.2	100	105.2	78.5	120
5		112.8	100	100.8	80.1	120

Таблица 6.32

**№2. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 60-65 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	115.2	100	100.5	79.5	150
2		106.5	100	90.8	74.6	150
3		118.7	100	103.4	79.5	150
4		113.5	100	96.2	81.7	150
5		109.3	100	94.8	74.3	150

Таблица 6.33

**№3. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 70-75 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	108.6	100	102.0	74.9	5
2		115.4	100	108.2	80.8	5
3		111.2	100	106.9	74.5	5
4		105.1	100	96.7	75.7	5
5		114.2	100	106.2	76.7	5

Таблица 6.34

**№3. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 70-75 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	110.2	100	98.5	76.0	15
2		118.5	100	110.5	83.0	15
3		112.2	100	104.0	75.2	15
4		105.0	100	96.5	75.6	15
5		115.4	100	106.2	78.5	15

Таблица 6.35

**№3. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 70-75 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	105.0	100	96.2	72.5	30
2		116.4	100	109.0	82.2	30
3		114.5	100	106.8	76.7	30
4		108.7	100	100.1	78.3	30
5		112.2	100	105.2	76.3	30

Таблица 6.36

**№3. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 70-75 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	110.8	100	100.2	76.5	60
2		119.6	100	109.5	83.7	60
3		106.0	100	96.5	71.7	60
4		114.8	100	105.2	82.7	60
5		116.2	100	106.7	79.0	60

Таблица 6.37

**№3. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 70-75 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	104.2	100	92.2	71.9	90
2		118.2	100	105.5	82.7	90
3		110.3	100	96.4	73.9	90
4		115.0	100	102.2	82.8	90
5		108.6	100	95.8	73.8	90

Таблица 6.38

**№3. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 70-75 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	108.5	100	95.6	74.9	120
2		115.2	100	102.7	80.6	120
3		110.2	100	96.0	73.8	120
4		116.5	100	104.7	84.6	120
5		112.8	100	98.5	76.7	120

Таблица 6.39

**№3. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 70-75 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	118.2	100	102.5	81.6	150
2		110.5	100	94.2	76.4	150
3		115.0	100	99.2	76.1	150
4		112.6	100	96.8	81.1	150
5		109.5	100	93.5	74.5	150

Таблица 6.40

**№4. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 80-85 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	110.5	100	103.0	76.2	5
2		106.4	100	101.5	75.2	5
3		111.4	100	106.0	74.6	5
4		115.0	100	106.3	82.8	5
5		114.4	100	106.8	76.8	5

Таблица 6.41

**№4. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 80-85 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	118.0	100	109.2	81.4	15
2		115.5	100	106.5	80.9	15
3		106.5	100	98.0	79.6	15
4		105.2	100	96.7	75.7	15
5		112.0	100	103.5	76.2	15

Таблица 6.42

**№4. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 80-85 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	115.5	100	105.7	79.7	30
2		106.2	100	96.0	75.0	30
3		114.5	100	106.8	84.7	30
4		112.0	100	104.6	80.6	30
5		108.5	100	99.8	73.8	30

Таблица 6.43

**№4. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 80-85 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	116.5	100	106.2	80.4	60
2		106.4	100	96.6	75.2	60
3		119.0	100	108.4	88.1	60
4		114.2	100	104.0	82.2	60
5		110.7	100	98.8	75.3	60

Таблица 6.44

**№4. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 80-85 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	110.8	100	96.0	76.5	90
2		115.0	100	101.6	80.5	90
3		104.4	100	91.4	76.3	90
4		108.6	100	94.5	78.2	90
5		118.5	100	104.2	80.6	90

Таблица 6.45

**№4. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 80-85 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	112.5	100	96.4	76.6	120
2		108.3	100	94.3	75.8	120
3		116.2	100	103.2	86.7	120
4		115.6	100	101.1	83.2	120
5		110.4	100	96.8	75.1	120

Таблица 6.46

**№4. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 80-85 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	106.4	100	89.2	73.4	150
2		110.2	100	93.5	76.1	150
3		116.0	100	101.4	86.6	150
4		108.5	100	91.2	78.1	150
5		112.5	100	93.7	76.5	150

Таблица 6.47

**№5. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 90-95 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	115.4	100	105.6	79.6	5
2		114.3	100	106.2	80.0	5
3		110.7	100	102.4	81.9	5
4		106.5	100	100.8	76.4	5
5		111.2	100	105.3	75.6	5

Таблица 6.48

**№5. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 90-95 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	112.2	100	102.3	76.4	15
2		118.7	100	108.5	83.1	15
3		105.4	100	95.4	78.0	15
4		115.6	100	105.0	83.2	15
5		106.3	100	96.2	73.0	15

Таблица 6.49

**№5. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 90-95 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	106.5	100	96.3	74.2	30
2		112.3	100	102.5	78.6	30
3		115.2	100	104.0	85.2	30
4		108.8	100	96.4	78.3	30
5		114.0	100	105.2	76.5	30

Таблица 6.50

**№5. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 90-95 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, Г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, Г	Масса после 15 дней, Г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	114.3	100	102.4	78.9	60
2		110.1	100	96.6	76.1	60
3		116.8	100	105.0	86.4	60
4		106.2	100	94.8	76.2	60
5		119.6	100	106.2	81.3	60

Таблица 6.51

**№5. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 90-95 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, Г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, Г	Масса после 15 дней, Г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	115.8	100	100.5	79.9	90
2		104.6	100	89.3	73.2	90
3		118.4	100	103.7	86.6	90
4		110.5	100	95.4	79.6	90
5		108.3	100	93.2	73.6	90

Таблица 6.52

**№5. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 90-95 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, Г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, Г	Масса после 15 дней, Г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	108.2	100	92.2	74.7	120
2		110.6	100	95.4	76.4	120
3		115.2	100	98.3	85.2	120
4		112.8	100	96.5	81.2	120
5		116.0	100	102.1	79.6	120

Таблица 6.53


**№5. Результаты экспериментальных исследований первичной переработки живых коконов при температуре 90-95 °С по изменению времени, расстояния между ИК-излучателем и продукцией 10 см**

№	Продукции	Начальная масса, г	Количество коконов, шт.	Масса после переработки, г	Масса после 15 дней, г	Время процесса переработки, мин
1	Живого шелкопряда	110.4	100	90.5	76.2	150
2		112.3	100	92.3	78.6	150
3		108.8	100	94.6	80.5	150
4		106.2	100	86.4	76.5	150
5		116.6	100	98.2	80.0	150


Были проведены экспериментально-исследовательские работы по изменению каждого параметра, как температуры так и времени в пяти- кратном повторении. По результатам проведенного экспериментального исследования переработанные живые коконы при температуре 50-55 °С через 10 дней наблюдались заплесневевшие – 25-30%, в 15-20% вылетали бабочки. В переработанных живых коконах при 85-95 °С ухудшилось качество 10-15%. При переработке под температурой 60-65 °С в течение 3-5 минут коконы умиротворились на 100% и наблюдалась качественная сушка.

Таблица 6.54

#### Расшифровка результатов образцов

Номер образца	Способ переработки	Фото результатов исследования
1	Обработано с использованием СВЧ в течение 3 минут при мощности 250-300 W. Утечка жидкости во время обработки наблюдалась у 20% коконов	

2	Обнаружено, что коконные черви, обработанные в холодильнике в течение дня при температуре -8 °С, погибнут на 100% и высохнут при комнатной температуре 38-40 °С в течение 16 дней с конечным содержанием влаги до 10-12%.	
3	У живых коконов, обработанных с помощью инфракрасного излучения при температуре 55-60 °С, в течение 10 дней наблюдался вылет бабочек – 15-20%. Определено в течение 25 дней при комнатной температуре 38-40 °С, показатель высыхания составлял 10-12% с конечным содержанием влаги.	
4	Через 10 дней у живых коконов, обработанных инфракрасным излучением при температуре 60-65 °С, образование плесени составляло у 25-30%. Обнаружено, что процесс высыхания в течение 18 дней при комнатной температуре 38-40 °С, конечное содержание влаги составляет до 10-12%.	
5	Обнаружено, что живые коконы, обработанные инфракрасным облучением, при температуре 65-70 °С, через 15-18 минут погибнут на 100% и в течение 14 дней при комнатной температуре 38-40 °С высохнут до 10-12% с конечным состоянием влаги.	
6	У 10-15% коконов качество испортились в результате выделения жидкости при переработке с ИК-лучами при диапазоне температур 75-85 °С. В течение 12 дней наблюдалась сушка до конечной влажности 10-12% при температуре 38-40 °С.	

7	<p>Определено, что живые коконы, обработанные инфракрасным облучением при температуре 65-70 °С, с сопровождением вибрационных волн, за 8-10 минут обработки погибнут на 100% и в течение 7 дней при комнатной температуре 38-40°С высохнут с конечным состоянием влаги до 10-12%.</p>	
---	---	---

Полученные результаты экспериментов подтверждает, что при применении вибрации и ИК-излучения ускоряется процесс первичной переработки коконов тутового шелкопряда. Определено, что живые коконы, обработанные инфракрасным облучением при температуре 65-70 °С с сопровождением вибрационных волн, за 8-10 минут обработки погибнут на 100% и в течение 7 дней при комнатной температуре 38-40 °С высохнут с конечным состоянием влаги до 10-12%.

В результате исследования найдены оптимальная температура и время для первичной переработки коконов тутового шелкопряда. За счет кратко - временной переработки улучшается конечный продукт.

Из приведенных выше исследований можно сделать вывод, что с использованием вибрации и ИК во время процесса переработки сокращается время сушки примерно до 60 мин и снижается температура процесса до 65-70 °С, тем самым экономятся затраты энергии.

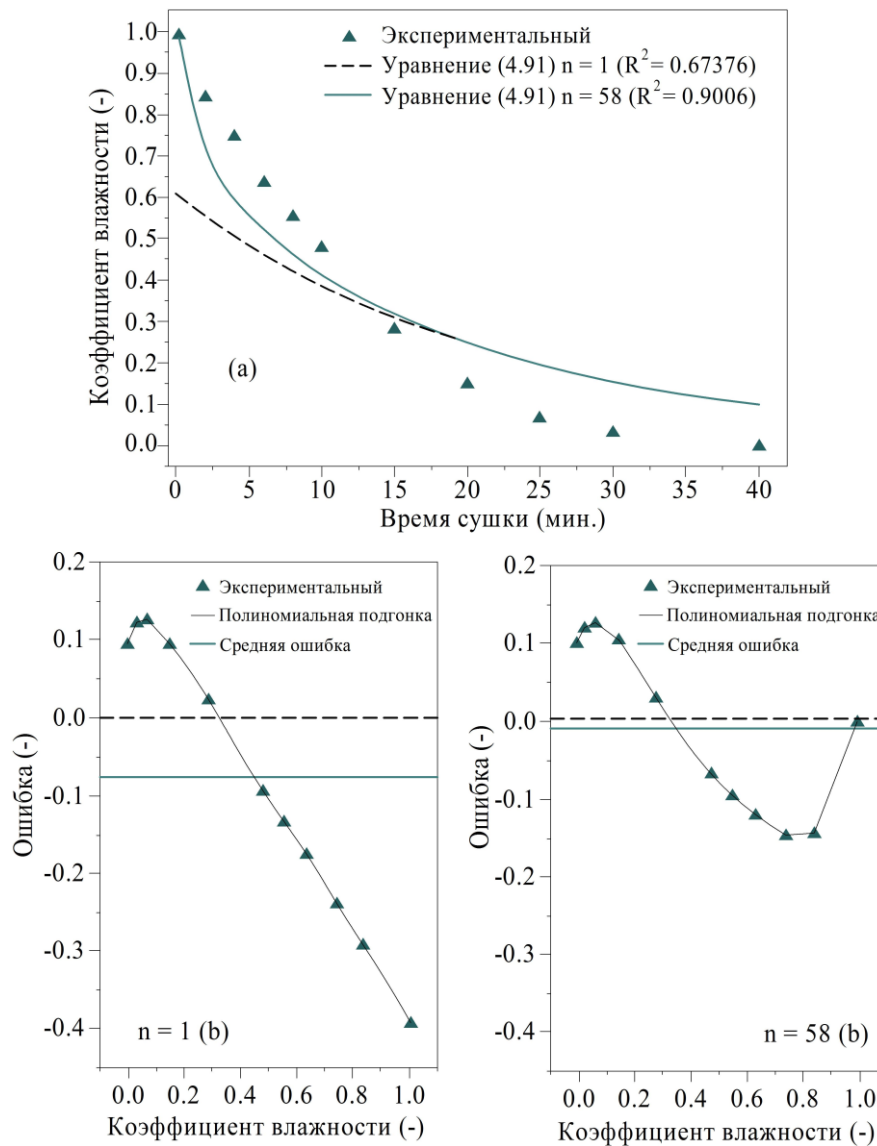
### 6.3. Анализ кинетики сушки и эффективность диффузии влаги и ее влияния на удельное энергопотребление

*Анализ эффективности диффузионной модели.* Экспериментальные данные и прогнозы, полученные тремя различными аналитическими решениями (уравнения 4.91, 4.93 и 4.96), можно сравнить на рисунках 6.10, 6.11 и 6.12, а также соответствующими распределениями ошибок для каждого проверенного уравнения. Уравнение (6.1) использовано для оценки погрешности между предсказанными и наблюдаемыми данными в конкретной точке «*k*», а распределение погрешности согласовано с полиномиальным уравнением в 5 градусов. Дисперсия между экспериментальными и наблюдаемыми данными будет обсуждаться для  $T=75$  °С,  $u=1,2$  мкФ,  $A=0,016$  м и  $F=8,15$  Гц. Результаты для других условий были очень похожи, поэтому здесь не рассматриваются. Аналитические решения, задаваемые бесконечными рядами, решались с помощью вычислительной процедуры (MatLab), а параметры моделей оценивались одновременно на основе критерия наименьших квадратов.

$$\text{Error}_k = \chi_k^{\text{exp}} - \chi_k^{\text{obs}} \quad (6.1)$$

Проверка на рисунке 6.10 показывает значительное отклонение данных, предсказанных уравнением (4.91) (пунктирная линия) не только в начале сушки

( $t=0$ ), на что указывали другие авторы, получившие аналогичные результаты, но и в следующих семи точках. После этих точек предсказанные кривые совпадают. Ясно, что решая ряды с  $n=58$  слагаемыми, чтобы уменьшить погрешность расчета до 1%, как предположили Ефремов и Кудра [446], сплошная линия пересекает ординату, близкую к максимальному значению отношения влаги ( $KV \approx 1,0$ ). Содержание влаги прогнозируется по формуле (4.91) при  $t=0$ , с другой стороны, равно 0,61, что в корне неверно для безразмерной переменной, такой как содержание влаги. Решение диффузионной модели с  $n=1$  предсказывает низкое безразмерное содержание влаги при  $t=0$ , значение, которое было найдено экспериментально после 7-минутной сушки. Левая сторона уравнения (4.91) должна быть равна правой части, чтобы минимизировать отклонения при  $t=0$ . Однако это предположение в действительности не выполняется, поскольку  $(6/\pi^2)$  не равно 1. Это предположение будет выполнено только для очень тонкого материала и длительное время сушки, означающее, что число Фурье должно быть очень высоким. В этом случае первая гармоническая составляющая ( $n=1$ ) в сумме уравнения (4.91) будет вносить меньший вклад в среднее содержание влаги, чем сумма всех других членов. Таким образом, в уравнении (4.91) с  $n=1$  не рекомендуется корректировать экспериментальные данные для условий, проверенных в этом исследовании, так как динамическое равновесное содержание влаги достигалось после сушки в течение нескольких минут. Преимущество использования аналитического решения с одним членом в ряду состоит в том, что коэффициент диффузии, если он предполагается постоянным, можно легко оценить графическим методом. Из рисунка 6.10 видно, что решение уравнения (4.91) с  $n=1$  приводит к сильному смещению с большой средней ошибкой.



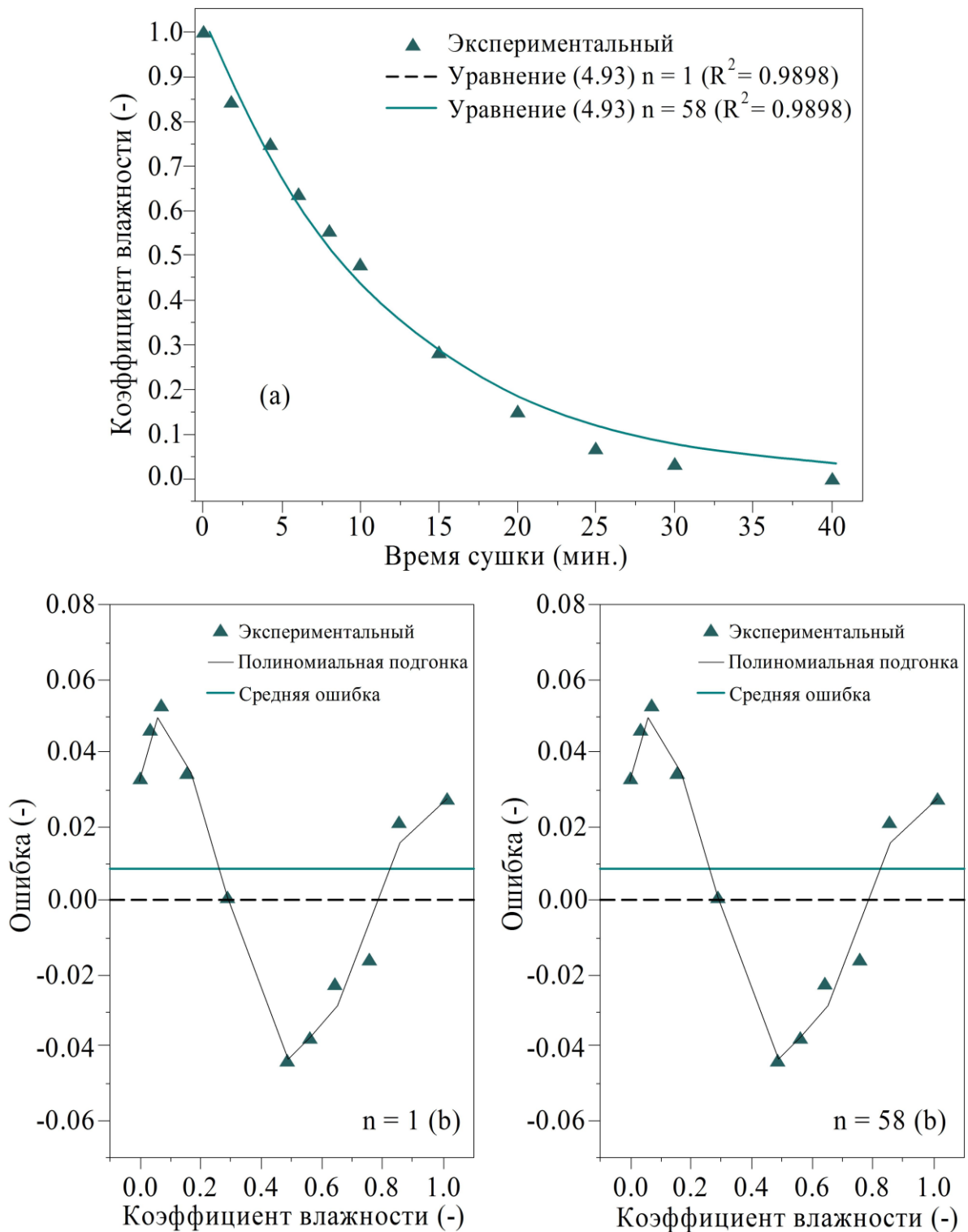
**Рис. 6.10. Прогнозируемые и наблюдаемые данные КВ (a) и распределение ошибок (b) уравнения (4.91) для  $T=75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $u=1,2\text{ мкФ}$ ,  $A=0,016\text{ м}$  и  $F=8,15\text{ Гц}$ . Средняя ошибка:  $-0,0776$  ( $n=1$ ) и  $-0,0085$  ( $n=58$ ); 5-градусная полиномиальная подгонка:  $R^2=0,9998$  ( $n=1$ ) и  $0,9979$  ( $n=58$ )**

Сравнение наблюдаемых и прогнозируемых данных на рисунке 6.10 показывает, что уравнение (4.91) недооценивает кинетические данные в начале сушки и переоценивает их в конце. Отклонения могут быть связаны главным образом с предположениями об изотермическом процессе и постоянной эффективной диффузии. Когда постоянная  $D_{эфф.}$  предполагается, уравнение (4.91) соответствует экспериментальным данным путем усреднения этого параметра. Во время сушки  $D_{эфф.}$  может зависеть от времени сушки [446], характеристик материала, условий эксплуатации и содержания влаги. Поскольку коэффициент диффузии должен зависеть от мгновенных значений локального содержания влаги (содержание воды изменяется в пространстве и времени), уравнение является в высокой степени нелинейным и трудным для решения, и в задачу данной работы не входит получение точного аналитического решения этой проблемы.

Как только коэффициент диффузии изменяется в течение всей сушки, точное значение этого параметра будет ниже расчетного среднего значения для глобального эффективного коэффициента диффузии. Другими словами, гипотеза о постоянной диффузии не годится, когда в качестве граничных условий принимаются «равновесная» влажность (4.88) и незначительное внешнее сопротивление ( $Bi_o \rightarrow \infty$ ). Аналогичный анализ может быть применен для сушки при 40 °С.

В работе [398] рассматривались отклонения между экспериментальными данными и прогнозными значениями по формуле (4.91) связанные с предположением, что содержание влаги на поверхности материала равно динамической равновесной влажности. Чтобы рассмотреть внешнее сопротивление массообмену принято конвективное граничное условие (уравнение 4.92) и диффузионная модель решена для  $Bi_o \neq \infty$  при  $r=R$ . Результаты представлены на рисунке 6.11, из которого видно, что данные предсказаны по формуле (4.93) с использованием значительного числа слагаемых, в решении хорошо согласуется с экспериментальными значениями. Это означает, что компонент первой гармоники ( $n=1$ ) является более значимым для среднего содержания влаги, чем сумма всех остальных. Согласно работе Хачатуряна [447], влияние этой гармонической составляющей становится доминирующим с течением времени. Таким образом, в определенный период времени он достигает так называемого «регулярного режима», когда коэффициент диффузии внутри частицы можно рассчитать с заданной точностью, рассматривая только первую гармонику [447]. Корректировка диффузионной модели, учитывающая внешнее сопротивление массообмену, улучшилась по сравнению с результатами, представленными на рисунке 6.10. Это означает, что внешним сопротивлением удаления влаги нельзя пренебрегать, эффективная диффузионность влаги может зависеть от температуры и скорости тепла внутри камеры.

Как вытекает из уравнения (4.91), результаты, изображенные на рисунке 6.12 показывают, что итоги, предсказанные уравнением (4.96), зависят от числа слагаемых, используемых при решении бесконечного ряда. Значительные отклонения наблюдаются между прогнозируемыми и наблюдаемыми данными при  $n=58$ , что может быть связано с чрезмерной подгонкой.

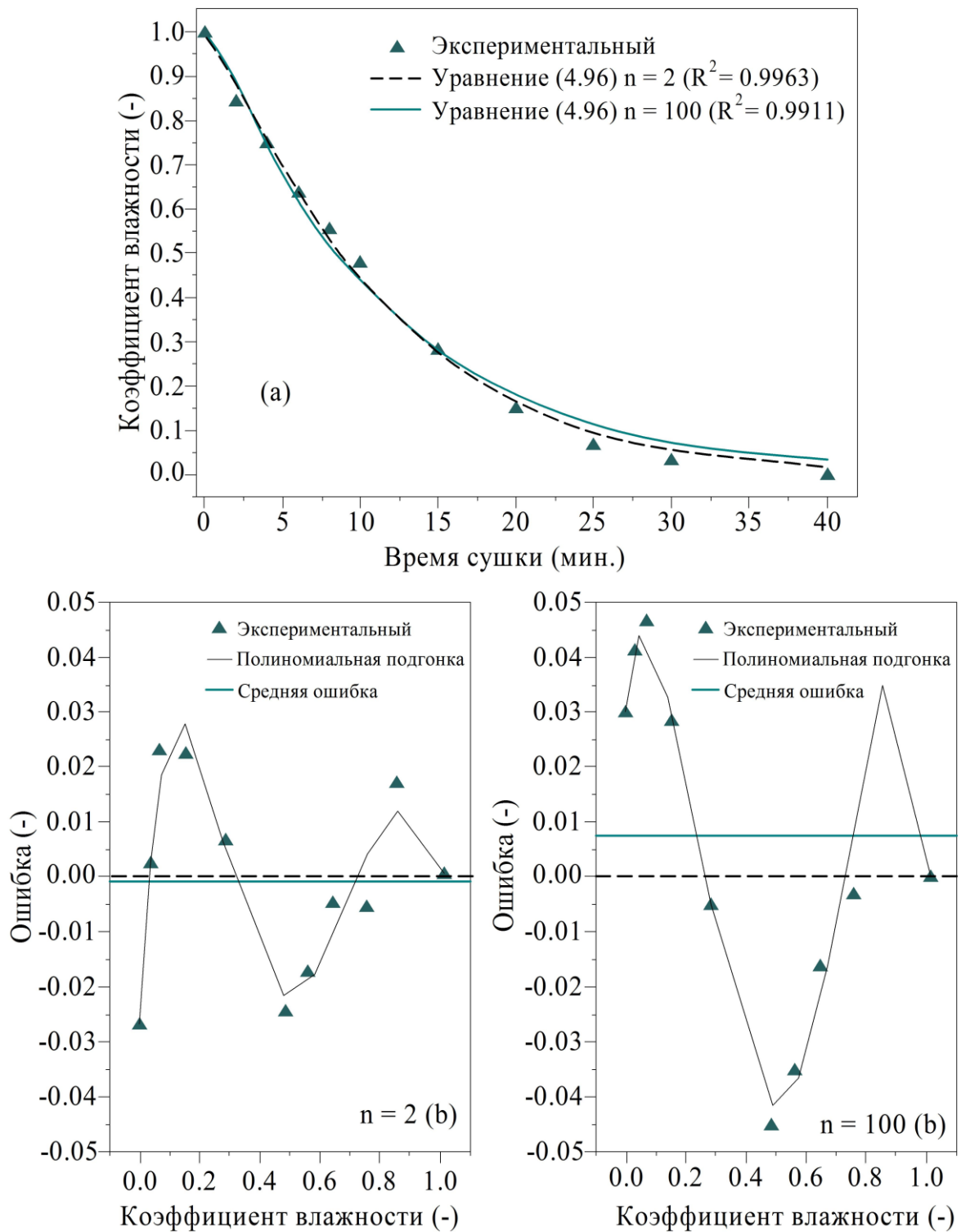


**Рис. 6.11. Прогнозируемые и наблюдаемые данные КВ (a) и распределения ошибок (b) уравнения (4.93) для  $T=75$  °C,  $u=1,2$  мкм,  $A=0,016$  м и  $F=8,15$  Гц. Средняя ошибка: 0,0086 ( $n=1$ ) и 0,0085 ( $n=58$ ); Полиномиальная подгонка 5 градусов:  $R^2=0,9630$  ( $n=1$ ) и 0,9629 ( $n=58$ ).**

В этом случае общая аппроксимация была улучшена с использованием нескольких терминов и тесты показали, что предсказания кинетических данных сушки были достаточно хорошими при решении модели с  $n=2$ , а аппроксимация не улучшила увеличение числа слагаемых в решении. Для этого

подхода средняя ошибка была самой низкой среди протестированных. Производительность аналитических решений также сравнивалась на предмет соответствия наблюдаемых и прогнозируемых данных и моделей распределения ошибок. Поскольку первые семь экспериментальных пунктов были плохо описаны уравнением (4.95), эта модель представила смещенное распределение ошибок и самую высокую среднюю ошибку, но она имеет преимущество простоты и более низких степеней свободы. Уравнение (4.96) представило лучшее соответствие среди протестированных уравнений и случайное распределение ошибок. Однако было отмечено, что установленная эффективная диффузия влаги сильно зависит от начальных значений, указанных в качестве входных данных. Кроме того, оценки  $D_{эфф.}$  были очень похожи на оценки по формуле (4.91) и представлен узкий диапазон доверительных интервалов, предполагая, что уравнение (4.96) не согласуется с описанием кинетических данных в сушильных установках, так как было обнаружено сопротивление внешнего слоя ( $Bi_o \rightarrow 0$ ). Уравнение (4.93) дало хорошие прогнозы экспериментальных данных и оценочные значения  $D_{эфф.}$  считались наиболее представительными для оцененных экспериментальных условий. Следовательно, они были приняты для оценки безразмерных чисел вибрации с целью обсуждения физической согласованности этого параметра.

*Анализ кинетики сушки.* Параметры оцениваются для всех условий эксплуатации по формуле (4.93). Анализы в режиме сушки слоя ( $B=0$ ) были выполнены с использованием того же оборудования, работающего без механической вибрации. Эффективные диффузии влаги были рассчитаны по формуле (4.97) с оцененными параметрами  $D_o$  и  $E_a$  для различных чисел Био, связанных с табличными корнями трансцендентного уравнения, представленного Карславом и Йегером [448] для сферической геометрии. «Оптимальное» значение Био было тем, которое обеспечивало наилучшую подгонку на основе самого высокого значения коэффициента детерминации и самого низкого значения коэффициента вариации. Расчетное значение Био было равно 0,04. На рисунке 6.13 показано хорошее согласие между экспериментальными данными и предсказаниями по формуле (4.93) для сушки с вибрацией и ИК нагревом.



**Рис. 6.12. Прогнозируемые и наблюдаемые данные КВ (a) и распределение ошибок (b) уравнения (4.96) для  $T=75$  °С,  $u=1,2$  мкФ,  $A=0,016$  м и  $F=8,15$  Гц. Средняя ошибка:  $-0,0007$  ( $n=2$ ) и  $0,0058$  ( $n=100$ ); полиномиальная подгонка 5 градусов:  $R^2=0,8465$  ( $n=1$ ) и  $0,9369$  ( $n=100$ ).**

Из табл. 3.3 видно, что разные значения  $D_0$  и  $E_a$  получены для одного и того же значения  $B$ . Это свидетельствует о том, что этот параметр не является уникальным для различных комбинаций  $A$  и  $F$ . Согласно литературным данным  $E_a$  является постоянной при различных температурах и фиксированной скорости

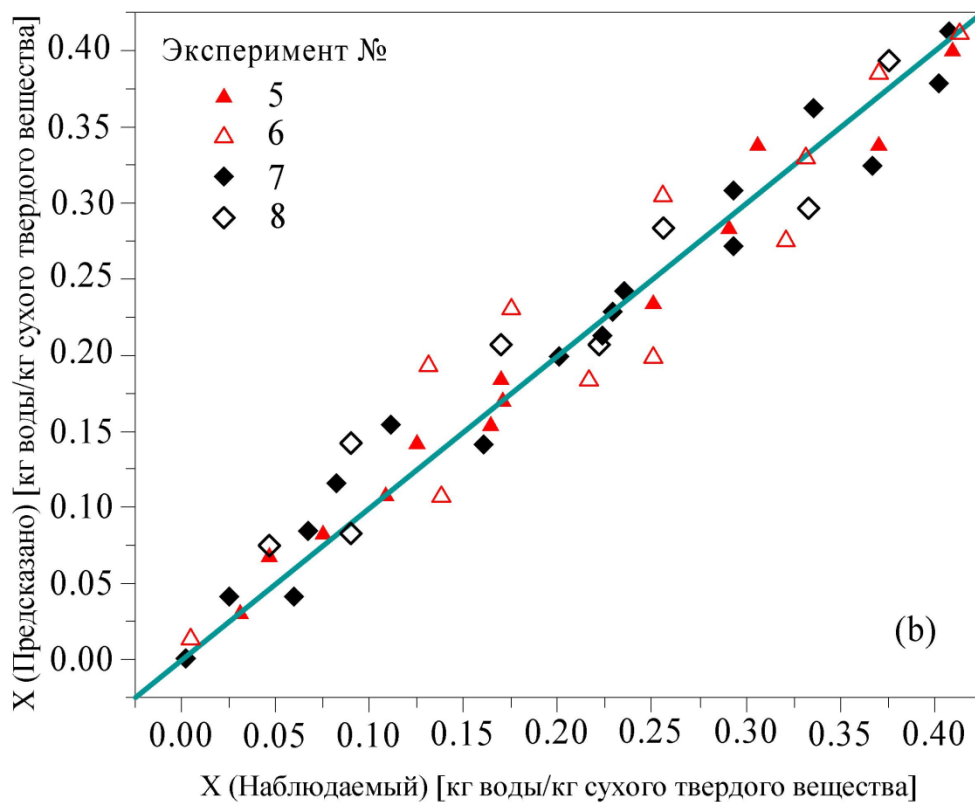
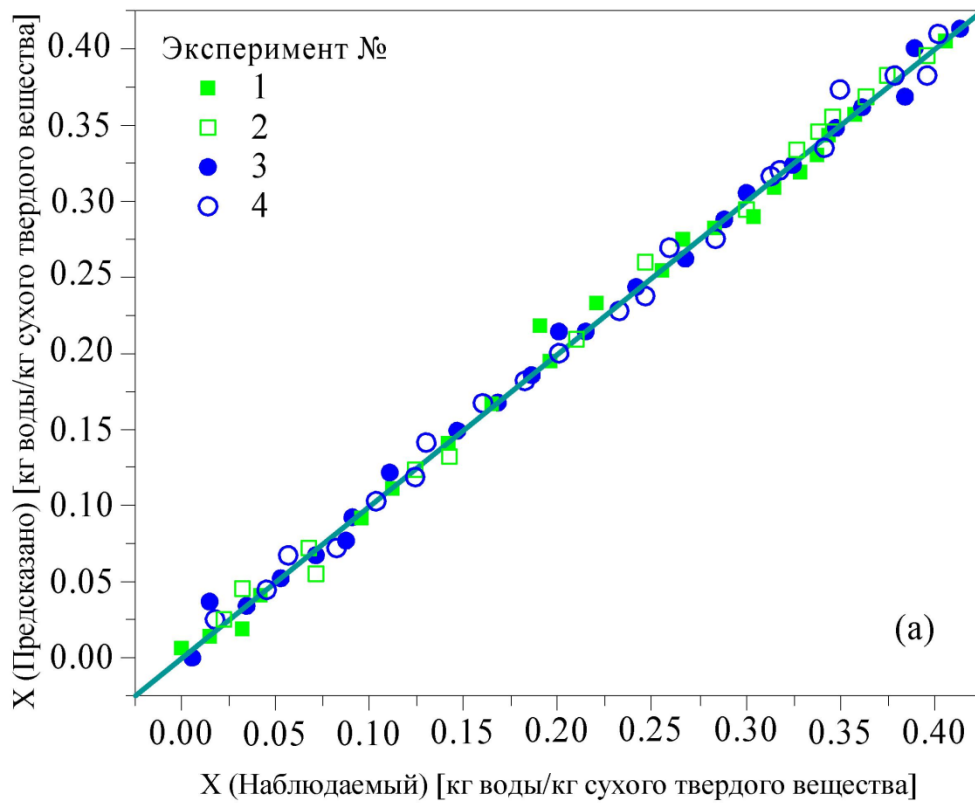
тепла. Исходя из наших данных,  $E_a$  изменяется для различных комбинаций  $A$  и  $F$ . Это показывает потенциал  $E_a$  при обсуждении энергетических характеристик, поскольку этот параметр интерпретируется как энергетический барьер для молекул воды. Тем не менее, есть доказательства того, что  $D_0$  также указывает на влияние различных комбинаций параметров вибрации, поэтому кинетика сушки была проанализирована с точки зрения  $D_{эфф.}$ , которая является комбинацией  $E_a$  и  $D_0$ .

Согласно результатам, представленным в табл. 6.55, вибрация усиливает передачу влаги для обеих протестированных скоростей газа (выше и ниже  $u_{mf}$  - минимальная скорость псевдооживления). Согласно Струмилло и Кудра [449], использование интенсивных колебаний с  $B > 1$  оказывает существенное влияние на массообмен.

**Таблица 6.55**

**Расчетные параметры диффузионной модели для различных условий эксплуатации**

№	T, (°C)	u, (м/с)	A, (с)	F, (Гц)	B, (-)	$D_0$ , - (м <sup>2</sup> /мин)	$E_a$ , (кДж/мол)	$D_{эфф.}$ , урав. (4.97), (м <sup>2</sup> /мин)	$D_{эфф.}$ , урав. (4.80), (м <sup>2</sup> /мин)
1	40	$0,8u_{mf}$	0,004	18,30	4	$1,78 \times 10^{-3}$	22,55	$3,07 \times 10^{-7}$	$7,50 \times 10^{-6}$
2	50	$0,8u_{mf}$	0,016	8,15	4	$7,62 \times 10^{-3}$	22,74	$1,22 \times 10^{-6}$	$7,50 \times 10^{-6}$
3	60	$1,2u_{mf}$	0,004	18,30	4	$2,05 \times 10^{-3}$	21,35	$5,65 \times 10^{-7}$	$7,50 \times 10^{-6}$
4	75	$1,2u_{mf}$	0,016	8,15	4	$5,35 \times 10^{-3}$	17,76	$7,13 \times 10^{-7}$	$7,50 \times 10^{-6}$
5	40	$0,8u_{mf}$	0,004	18,30	4	$2,92 \times 10^{-3}$	23,75	$9,17 \times 10^{-7}$	$7,50 \times 10^{-6}$
6	50	$0,8u_{mf}$	0,016	8,15	4	$1,23 \times 10^{-3}$	19,92	$1,32 \times 10^{-7}$	$7,50 \times 10^{-6}$
7	60	$1,2u_{mf}$	0,004	18,30	4	$2,88 \times 10^{-3}$	23,83	$5,77 \times 10^{-7}$	$7,50 \times 10^{-6}$
8	75	$1,2u_{mf}$	0,016	8,15	4	$1,91 \times 10^{-3}$	19,71	$2,33 \times 10^{-7}$	$7,50 \times 10^{-6}$



**Рис. 6.13. Прогнозируемые и наблюдаемые данные среднего содержания влаги в экспериментах с вибрацией и ИК нагревом (эксперименты 1, 2, 3, 4) (a) и без вибрации (эксперименты 5, 6, 7, 8) (б)**

Результаты показывают, что вибрация способствует более эффективной диффузии влаги, особенно для условий  $T=75\text{ }^{\circ}\text{C}$  и скорости газа 1,2 мкм, где этот эффект более выражен. Для этих условий  $D_{эфф.}$  почти на 60% выше, чем  $D_{эфф.}$ , полученный для условий невибрируемого слоя ( $B=0$  и 1,2  $u_{mf}$ ). Интенсивность вибрации может быть особенно полезна для сушки материалов с низкой эффективной диффузией, таких как биомассы.

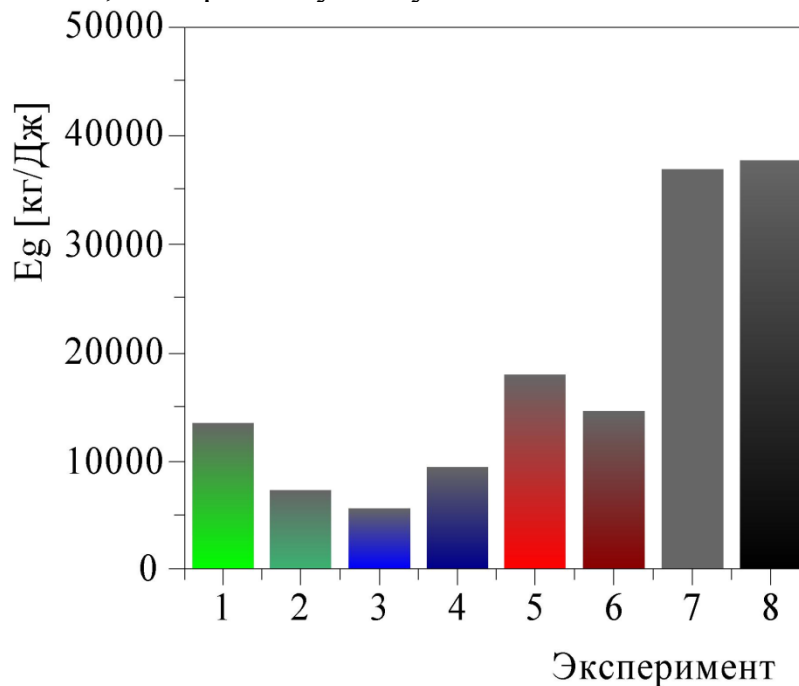
Что касается эксплуатационных аспектов сушильных установок, параметры вибрации должны быть тщательно выбраны, так как неправильная комбинация  $A$  и  $F$  может увеличивать энергию, потерянную при её истощении, поэтому уровни  $A$  и  $F$  должны максимизировать скорость сушки и уменьшить потребление энергии. По нашим данным, для  $T=75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $u=1,2\text{ мкм}$ ,  $A=0,016\text{ м}$  и  $F=8,15\text{ Гц}$ ,  $D_{эфф.}$  увеличился в четыре раза по сравнению с оценкой для  $A=0,003\text{ м}$  и  $f=18,20\text{ Гц}$  в аналогичных условиях. Как показано в табл. 6.55, комбинация с  $A=0,016\text{ м}$  и  $F=8,15\text{ Гц}$  дала самое высокое значение  $D_{эфф.}$  среди исследованных условий. Следовательно, эти параметры вибрации обеспечивают более низкую диффузионную стойкость к переносу влаги (для того же характерного размера) при сушке с вибрирующим слоем, что является привлекательным для повышения скорости сушки. Это означает, что при фиксированном значении  $B$  улучшенные условия процесса могут быть достигнуты в отношении потребления энергии и производительности сушки. Тщательная оценка параметров вибрации важна для баланса энергопотребления сушки и затрат на процесс, а также для определения наиболее экономически эффективных условий процесса. Такой анализ является актуальным, поскольку может внести свой вклад в конструкторские и эксплуатационные изменения, что возможно будет полезным для масштабирования процесса и проектирования оборудования и потребления энергии.

*Анализ энергопотребления.* Существуют различные показатели для оценки энергетических характеристик конкретного процесса сушки. Кроме того, удельный расход энергии ( $E_s$ ), определяемый как количество энергии, необходимое для испарения единицы массы воды, является классическим показателем для сравнения эффективности операций сушки.  $E_s$  предоставляет некоторые оценки затрат на энергию и оценку проекта для промышленных целей. Для теоретической инфракрасной периодической сушилки  $E_s$  рассчитывается в соответствии с:

$$E_s = \frac{Q_h}{W_{ew}} = \frac{m_g c_{pg}(T-T_a)t}{m_s(\bar{X}_0 - X_{равн.})} \quad (6.2)$$

На рисунке 6.14 показаны рассчитанные значения  $E_s$  для варьированных экспериментов. Ясно, что для одного и того же  $B$  могут быть получены разные уровни энергопотребления, что указывает на то, что различные комбинации  $A$  и  $F$  могут приводить к различным энергетическим характеристикам сушилки. Таким образом,  $B$  нельзя считать универсальным параметром для описания энергии вибрации и его нельзя использовать в качестве основы для обсуждения или описания энергетических характеристик сушилки, так как он не показывает влияние  $A$  или  $F$  в отдельности. Согласно результатам, более низкие значения

$E_s$  получены для наибольшего значения амплитуды ( $A=0,016$  м) и для самого низкого значения частоты ( $F=8,15$  Гц). Эти результаты подтверждаются в табл. 6.55, в которой более высокие значения  $D_{эфф.}$  получены для тех же самых условий вибрации. Замечено, что добавление механической вибрации в слой частиц не улучшило энергетические характеристики сушилki по сравнению с режимом сушки без вибрации при ( $B=0$ ) для более высокой температуры (эксперименты 4 и 10). Однако потребление энергии в режиме с неподвижным слоем ниже для всех исследованных условий. Что касается энергопотребления, наилучшее состояние наблюдается при  $T=40$  °С,  $u=0,8$   $u_{mf}$ ,  $A=0,016$  м и  $F=8,15$  Гц, что приводит к наименьшему значению  $E_s$ . При этом условия тепловые потери уменьшаются, а скорость сушки увеличивается.



**Рис. 6.14. Удельное энергопотребление ( $E_s$ ) для экспериментов, проводимых при разных условиях сушки**

Результаты показывают, что более высокие скорости сушки и более низкое энергопотребление не обязательно должны наблюдаться при одинаковых условиях эксплуатации. Для определения наиболее рентабельных условий, реализуемых в промышленных процессах, важно сбалансировать спрос на энергию, капитальные и эксплуатационные расходы. Поэтому интересно проанализировать другие комбинации параметров вибрации и условий процесса, чтобы оценить преимущество вибрационной ИК-сушки перед обычной ИК-сушки по производительности.

Потребление энергии можно оптимизировать, если бы все тепло, подаваемое в сушилку, использовалось для испарения влаги. Этого не происходит из-за существующих потерь процесса сушки в целом, таких как ощутимый нагрев материала, потери тепла на нагрев поступающего в аппарат, покидающего его воздуха. Использование низкой температуры и вибрации является хорошей стратегией для снижения тепловых потерь.

#### **6.4. Исследование температурного поля процесса первичной переработки коконов тутового шелкопряда**

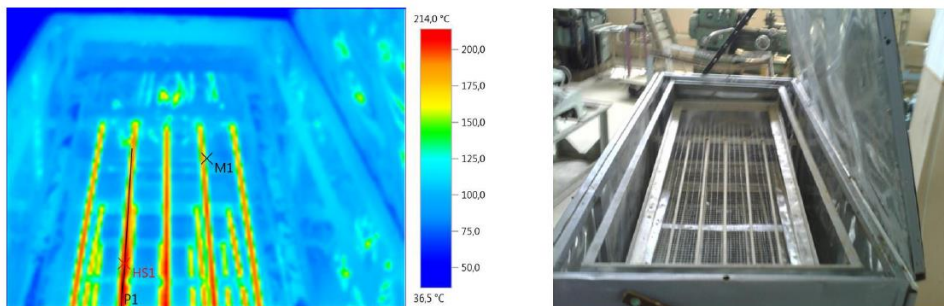
Для обеспечения равномерной температуры в инфракрасной вибрационной сушильной установке и сохранения качества конечного продукта в процессе первичной обработки коконов тутового шелкопряда температурное поле изучалось с помощью тепловизора, изображенного на рисунке 6.15.

С помощью тепловизора можно измерять температуру в бесконтактном и дистанционном процессах. Одновременно можно получать сведения о температуре из нескольких точек. Тепловизор измеряет инфракрасное излучение в длинноволновом спектре в пределах поля обзора и автоматически распознает холодные и горячие точки. Исходя из этого, осуществляется расчет температуры измеряемого объекта. Тепловое изображение появляется на экране тепловизора и полученные результаты изображения обрабатываются на компьютере. Диапазон измерения температуры от  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+650\text{ }^{\circ}\text{C}$ , качество изображения  $320\times 240$  пикселей, спектральный диапазон -  $7,5\text{-}14\text{ мкм}$ , погрешность  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (2%).



**Рис. 6.15. Тепловизор Testo 868**

Проведены лабораторные эксперименты и изучены температурные поля в инфракрасной вибрационной сушильной установке в процессе первичной обработки коконов тутового шелкопряда (рисунки 6.16-6.21).



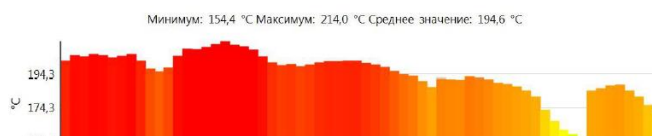
Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0,93  
Отраж. темп. [°C]: 22,0

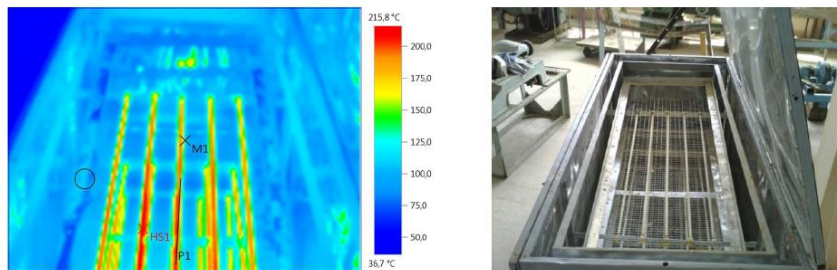
Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	107,7	0,93	22,0	CenterSpot
Самая холодная точка 1	36,5	0,93	22,0	-
Самая теплая точка 1	214,0	0,93	22,0	-

Линия профиля:



**Рис. 6.16. Тепловое изображение ИК-излучателей**



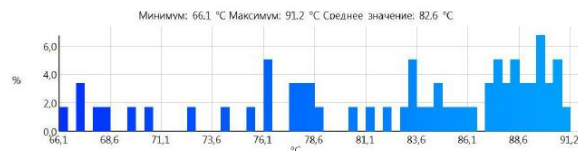
Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0,93  
Отраж. темп. [°C]: 22,0

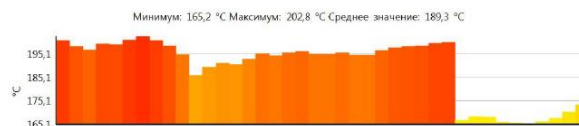
Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	97,5	0,93	22,0	CenterSpot
Самая холодная точка 1	36,7	0,93	22,0	-
Самая теплая точка 1	215,8	0,93	22,0	-

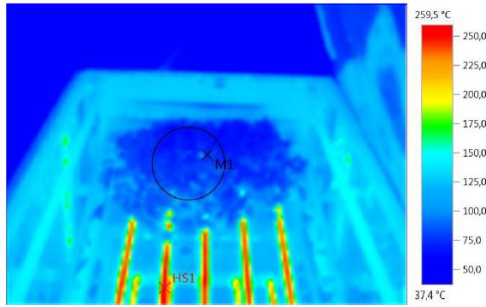
Гистограмма:



Линия профиля:



**Рис. 6.17. Гистограмма и профиль ИК-излучателей**



Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0,93  
Отраж. темп. [°C]: 22,0

Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	57,0	0,93	22,0	CenterSpot
Самая холодная точка 1	37,4	0,93	22,0	-
Самая теплая точка 1	259,5	0,93	22,0	-

Гистограмма:

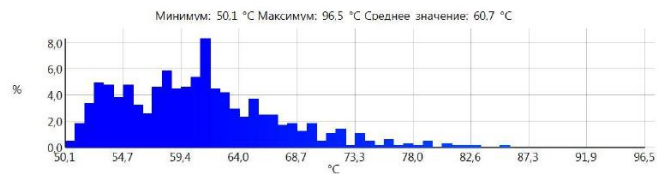
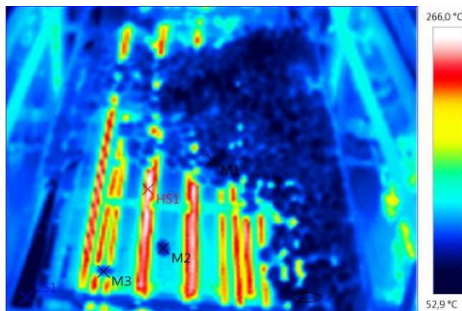


Рис. 6.18. Процесс переработки коконов



Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0,93  
Отраж. темп. [°C]: 22,0

Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	66,3	0,93	22,0	CenterSpot
Точка измерения 2	73,3	0,93	22,0	-
Точка измерения 3	82,7	0,93	22,0	-
Самая холодная точка 1	52,9	0,93	22,0	-
Самая теплая точка 1	266,0	0,93	22,0	-

Гистограмма:

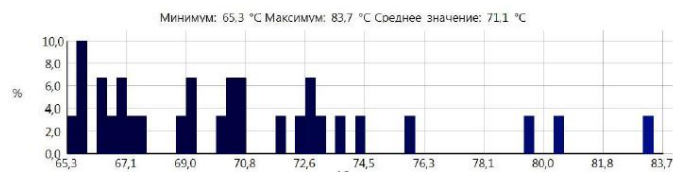
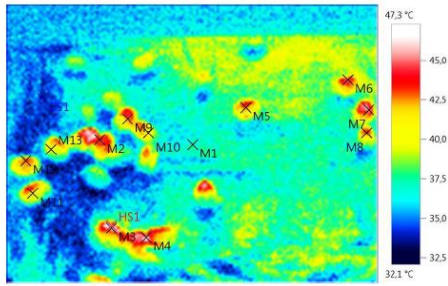


Рис.6.19. Измерение температуры процесса сушки коконов



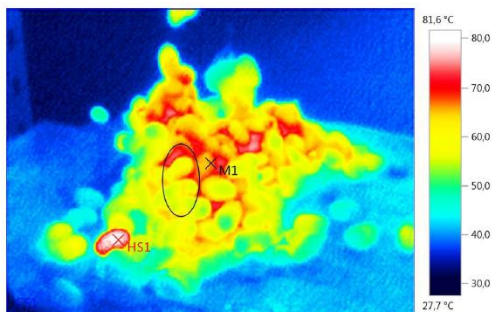
Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0,93  
Отраж. темп. [°C]: 22,0

Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	36,8	0,93	22,0	CenterSpot
Точка измерения 2	43,3	0,93	22,0	-
Точка измерения 3	46,2	0,93	22,0	-
Точка измерения 4	45,7	0,93	22,0	-
Точка измерения 5	42,4	0,93	22,0	-
Точка измерения 6	44,6	0,93	22,0	-
Точка измерения 7	45,2	0,93	22,0	-
Точка измерения 8	43,1	0,93	22,0	-
Точка измерения 9	42,4	0,93	22,0	-
Точка измерения 10	40,8	0,93	22,0	-
Точка измерения 11	40,2	0,93	22,0	-
Точка измерения 12	43,0	0,93	22,0	-
Точка измерения 13	39,4	0,93	22,0	-
Самая холодная точка 1	32,1	0,93	22,0	-
Самая теплая точка 1	47,3	0,93	22,0	-

Рис. 6.20. Измерение температуры высушенных коконов



Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0,93  
Отраж. темп. [°C]: 22,0

Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	63,7	0,93	22,0	CenterSpot
Самая холодная точка 1	27,7	0,93	22,0	-
Самая теплая точка 1	81,6	0,93	22,0	-

Гистограмма:

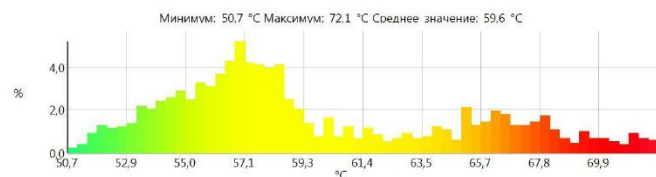


Рис. 6.21. Гистограмма результатов переработки коконов

На основе полученных результатов исследования с помощью тепловизора были устранены недостатки инфракрасной вибрационной сушильной установки, связанные с излучателями и течением теплового потока в процессе первичной обработки коконов, также определены оптимальные температуры и обеспечена равномерная обработка коконов тутового шелкопряда.

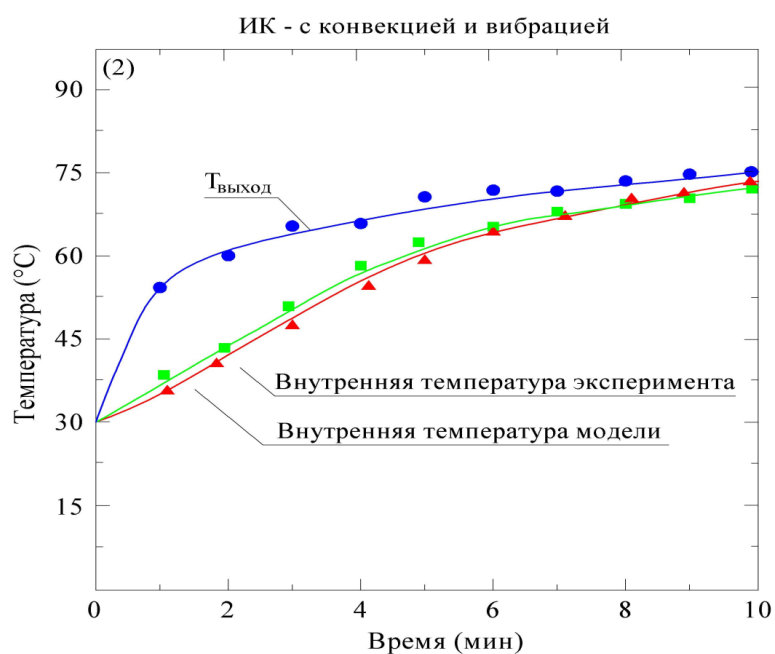
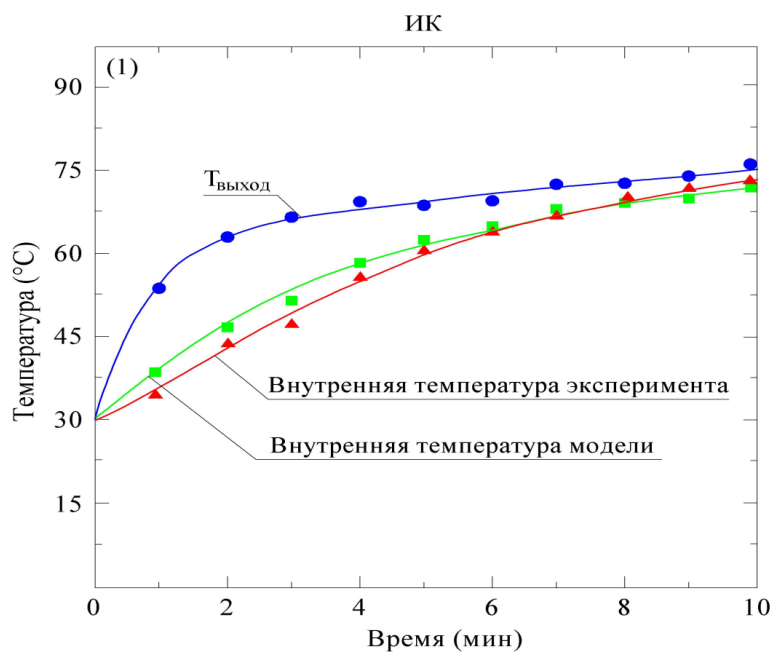
### **6.5. Сравнение данных моделирования и экспериментальных результатов по коконам**

В экспериментах исследовано влияние ИК-полей на коконы. Внутренняя температура кокона определена путём расчётов, а внешние параметры коконов введены в математическую модель исследований вибрационной ИК-сушки в качестве граничных условий [450-456].

На рисунке 6.22 приведено модельное представление прогнозируемой внутренней температуры кокона по его модели в сравнении с экспериментальными данными (температура как внутри, так и снаружи исходного кокона). Поскольку внешняя температура быстро меняется, разность между наружной и внутренней температурами поверхности кокона высокая, тепловой поток большой величины вызван более высокой разницей температур, что приводит к быстрому изменению внутренней температуры кокона с градиентом, направленным в сторону наружной температуры. С течением времени скорость изменения наружной температуры уменьшается, и разность температур между наружной и, соответственно внутренней поверхностью кокона также уменьшается, поэтому скорость изменения внутренней температуры кокона убывает. Внутренняя температура кокона достигнет внешней температуры, если будет обеспечено достаточное время уравнивания.

Численные результаты, рассчитанные по математической модели вибрационной ИК-сушки кокона, хорошо согласуются с экспериментальными данными для исходного кокона. Поэтому модель сушки кокона может быть использована для точного прогнозирования процесса теплопередачи через стенку кокона и численного исследования тепловых свойств стенки кокона [457-460].

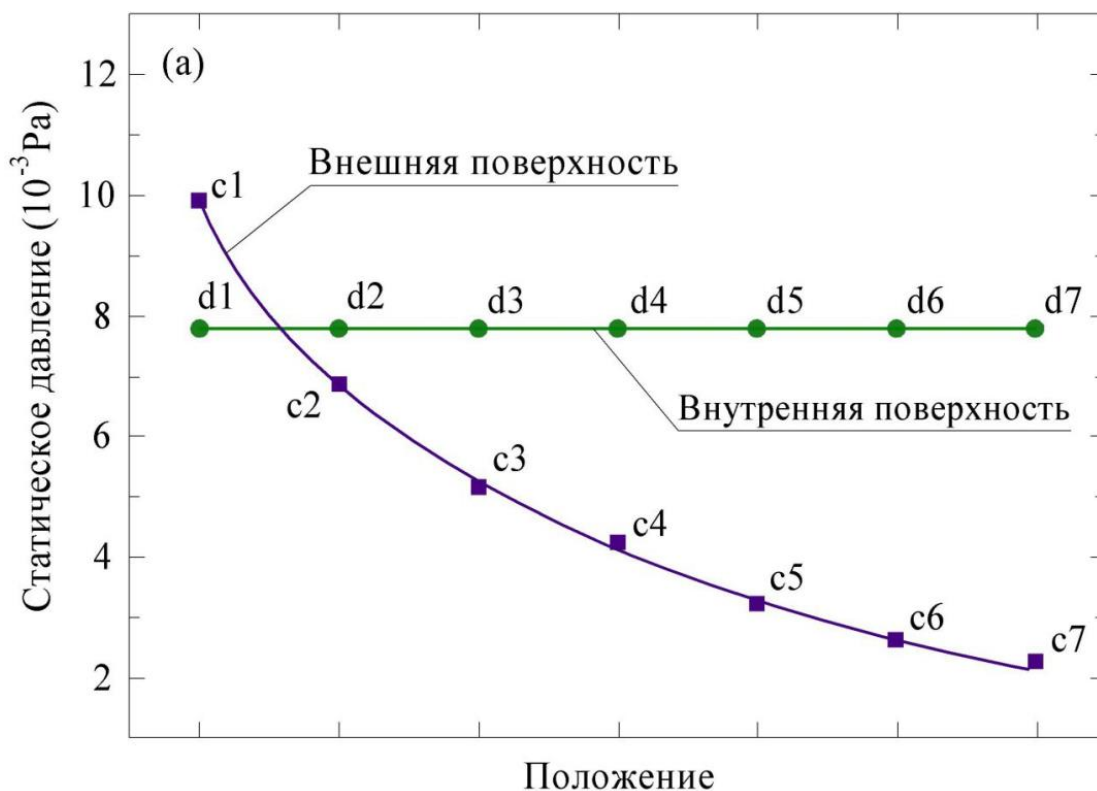
*Поле микропотока в стенке кокона.* Стенка кокона представляет собой типичную пористую структуру, поэтому тепло может проходить через стенку кокона вдоль ее связанных пор. Объем воздуха, проходящего через стенку кокона, изменяет теплопередачу излучением и проводимостью. Поле микропотока в стенке кокона существует благодаря диффузии, вызванной градиентом давления.



**Рис. 6.22. Сравнение внутренней температуры, полученной математическим моделированием процесса сушки кокона и экспериментальными данными (1) (2)**

На рисунке 6.23 произведено сравнение смоделированного статического давления между внешней и внутренней поверхностями стенок кокона. Статическое давление одной спроектированной точки во времени не всегда остаётся неизменным. Оно колеблется вокруг среднего значения, которое нанесено на график, а столбцы ошибок представляют уровень верхних и нижних колебаний. На наружной поверхности стенки кокона внешнее статическое давление уменьшается с увеличением расстояния от точки входа воздушного потока из-за трения между воздухом и внешней поверхности шелковых волокон во время потока. На внутренней поверхности стенки кокона

среднее внутреннее статическое давление распределено практически равномерно в каждой точке измерения. При поступлении воздуха из впускного отверстия статическое давление на наружной поверхности выше, чем на внутренней поверхности стенки кокона, что является движущей силой диффузии воздуха изнутри на поверхность кокона. Когда воздух проходит по внешней поверхности кокона, статическое давление на внешней поверхности становится ниже. Существует точка пересечения, в которой статическое давление изменяется от более высокого к более низкому на внешней поверхности по сравнению с внутренней поверхностью. Различные профили статического давления, образующие разные типы моделей коконов, вызваны уникальными структурами коконов.



**Рис. 6.23. Сравнение статического давления между внешней и внутренней поверхностями модели стенки кокона**

### 6.6. Результаты качественных анализов

Исследования качественного анализа перерабатываемого продукта коконов тутового шелкопряда дурагайного сорта «Ипакчи-1», выращенных весной, проводили в лаборатории научно-исследовательского института шелководства при Ассоциации «Узбекипаксаноат». Результаты лабораторных исследований представлены в табл. 6.56-6.61.

Таблица 6.56

## Результаты сортировки образцов коконов тутового шелкопряда

Номер образца	Сортовые и дефектные коконы, %								
	Сортовые	Рубцовые	Атласные	Пятнистые	Остроконечные	Гонкополосные	Тонко стенные	Двойник	Прочие
1	18,48	5,43	4,35	14,13	4,35	42,39	10,87	1,11	-
2	50,26	4,32	5,56	8,62	-	18,56	11,9	-	-
3	10,2	5,56	4,26	8,85	-	19,35	12,87	-	1,09
4	17,2	5,38	3,22	66,67	-	5,38	2,15	1,24	-
5	47,58	5,84	3,11	41,11	-	20,32	14,53	-	-
6	26,09	7,61	1,08	46,74	4,44	20	10,87	1,09	1,09
7	50,85	4,95	5,64	6,86	-	5,43	7,22	-	-

Таблица 6.57

## Результаты калибровки образцов коконов тутового шелкопряда

Номер образца	Калибр коконов, %			
	Мелкий, (14-15 мм)	Средний, (16-19мм)	Крупный, (20-22 мм)	Крупный от крупного, (23 мм и выше)
1	-	-	23,53	76,47
2	-	-	70,83	29,17
3	-	4,16	58,70	37,14
4	-	4,35	43,75	51,9
5	-	-	65,22	34,78
6	-	8,70	70,05	21,25
7	-	-	88,89	11,11

Таблица 6.58

## Масса и шелконосность образцов коконов тутового шелкопряда

Номер образца	Масса кокона, среднее значение, г	Шелконосность, среднее значение, %
1	0,981	46,99
2	0,942	49,04
3	1,006	46,52
4	0,948	49,16
5	0,936	50,32
6	0,939	49,73
7	1,002	50,88

Таблица 6.59

**Линейная плотность коконной нити образцов коконов тутового шелкопряда**

Номер образца	Текс, среднее значение	№ метрический, среднее значение
1	0,277	3610
2	0,273	3663
3	0,285	3509
4	0,304	3289
5	0,284	3521
6	0,318	3145
7	0,261	3831

Таблица 6.60

**Непрерывно разматываемая и общая длина нити образцов коконов тутового шелкопряда**

Номер образца	Одиночная размотка, среднее значение		Разматываемость коконной оболочки, %
	Непрерывно-разматываемая длина, м	Общая длина, м	
1	617	1417	43
2	837	1271	65
3	275	1329	20
4	612	1283	47
5	858	1350	63
6	692	1275	54
7	933	1025	91

Таблица 6.61

**Выход шелкопродуктов – образцов коконов тутового шелкопряда**

Номер образца	Выход продукции, %						Удельный расход
	Шелк-сырец	Коконный сдир	Оболочка донка	Всего шелкопродуктов	Куколка	Растворимые вещества	
1	36,74	7,27	4,73	47,74	50,29	1,97	2,72
2	41,37	3,67	5,21	50,90	47,30	1,80	2,42
3	40,51	5,32	5,10	49,28	48,49	2,23	2,47
4	33,71	6,61	4,45	44,67	53,23	2,10	2,97
5	41,26	4,32	4,17	50,95	47,15	1,90	2,42
6	38,95	5,26	4,74	48,95	49,12	1,93	2,57
7	41,28	3,91	4,15	50,92	50,1	2,0	2,45

Полученные экспериментальные результаты подтверждают, что при применении вибрации и ИК-излучения ускоряется процесс первичной обработки коконов тутового шелкопряда.

В результате исследования найдены оптимальные температура и время первичной обработки коконов тутового шелкопряда. За счет кратко-временной обработки улучшается конечный продукт, тем самым экономятся затраты энергии.

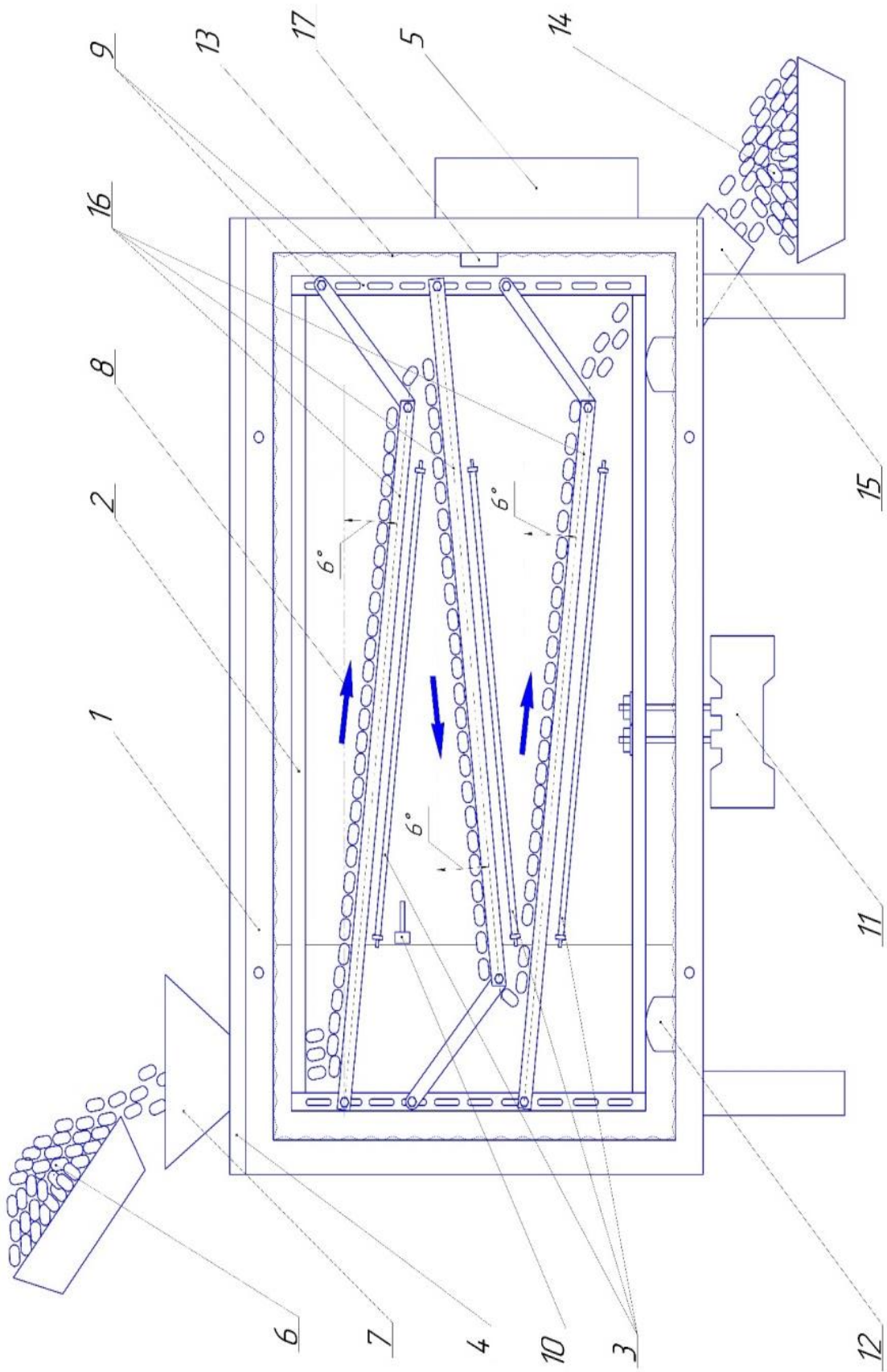
## **ГЛАВА 7. РАЗРАБОТКА КОНВЕЙЕРНОЙ ИНФРАКРАСНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИБРАЦИИ ДЛЯ МОРКИ И СУШКИ КОКОНОВ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА**

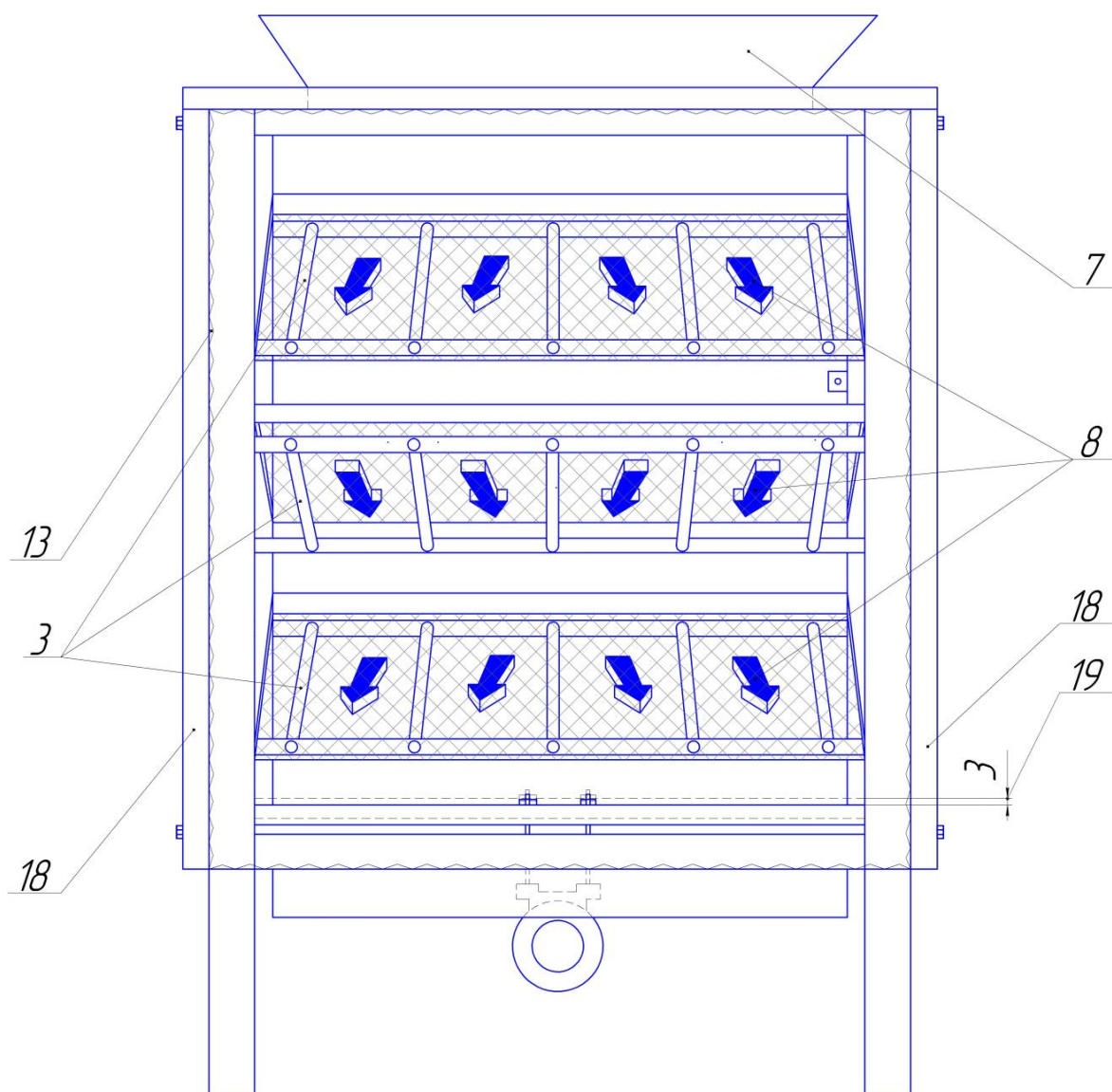
### **7.1. Конструкция и принцип работы инфракрасной вибрационной сушильной установки для первичной переработки коконов тутового шелкопряда**

Разработанная установка для первичной обработки коконов тутового шелкопряда состоит из стационарного корпуса 1, вибрирующей камеры 2, керамических ИК-нагревателей 3, верхнего окна 4, блока управления 5, бункера накопления живых коконов 6, загрузочного бункера 7, направляющие коконов 8, устройства регулировки угла наклона поддона 9, термопреобразователя 10, вибрационного двигателя 11, резиновой подушки для амортизации вибрации 12, отражателя ИК-лучей 13, лотка для обработанного продукта 14, разгрузочного устройства 15, наклонного поддона 16, генератора упругих волн 17, боковых щитов 18, хода вибрации 19 [461-467].

Принципиальная схема установки изображена на рисунке 7.1. Установка работает следующим образом.

Свежий урожай коконов из бункера 6 подают в загрузочный бункер 7, который находится в стационарном корпусе 1, из которого они поступают в вибрационную камеру 2, где имеются наклонные поддоны 16. С помощью регулятора угла наклона поддона 9 можно управлять скоростью конвейерного хода кокона, а с помощью блока управления 5 устанавливаются параметры вибрации и, соответственно, управляется температурой процесса. Вибрационный двигатель 11 создает колебания, используя весь ход вибрации 19. Кокон по поддону 16 за счёт вибраций в пространстве 19 перемещается вниз. Под вибрационную камеру 2 ставится резиновая подушка 12 для амортизации вибрации. Следует отметить, что вибрации в пространстве 19, с преобразователем упругих волн 17 и керамических ИК-нагревателей 3 происходят равномерно, по всей длине пути перемещения коконов от загрузочного бункера 7 до разгрузочного устройства 15. Перед поступлением коконов в наклонные поддоны 16 для переработки включается нагрев посредством керамических ИК-излучателей 3. Для экономии электроэнергии установлен отражатель ИК-лучей 13, установлены также верхнее окно 4, и боковые щиты 18. Сокращение расхода электроэнергии обеспечивает снижение себестоимости конечного продукта. Управление температурой процесса осуществляется с помощью термопреобразователя 10. Переработанные коконы покидают аппарат через разгрузочное устройство 15.





1-стационарный корпус; 2-вибрационная камера; 3-керамические ИК-нагреватели; 4-верхнее окно; 5-блок управления; 6-бункер накопления живых коконов; 7-загрузочный бункер; 8-направляющие коконов; 9-устройство регулировки угла наклона поддонов; 10-термопреобразователь; 11-вибрационный двигатель; 12-подушка для амортизации вибрации; 13-отражатель ИК-лучей; 14-лоток для обработанных коконов; 15-разгрузочное устройство; 16-наклонные поддоны; 17-генератор упругих волн; 18-боковые щиты; 19-ход для осуществления вибраций.

**Рис. 7.1. Установка для первичной обработки коконов тутового шелкопряда**



**Рис. 7.2. Установка для первичной переработки коконов тутового шелкопряда**

Элементы сушильной установки, имеющие контакт с сырьем, должны изготавливаться из сеточных материалов, разрешенных нормативами. Технические параметры сушильной установки приведены в таблице 7.1.

Для данной установки разработаны технические условия (Ts 26985714-01:2019) и технические задания (26985714-03-2019 ТЗ) для серийного производства (приложения 13 и 14).

## **7.2. Техническое задание на конвейерной инфракрасной сушильной установке с использованием упругих волн для морки и сушки коконов тутового шелкопряда**

1. Наименование, назначение и область применения.

1.1. Наименование «Конвейерная инфракрасная сушильная установка с использованием упругих волн для морки и сушки коконов тутового шелкопряда» (далее по тексту – Сушильная установка).

1.2. Сушильные установки предназначены для промышленного применения при заготовке высококачественных коконов тутового шелкопряда для последующих технологических операций.

1.3. Сушильная установка должна работать в следующих условиях:

а) окружающая среда – невзрывоопасная;

*б) рабочее положение – установка должна быть установлена на твердом горизонтальном основании;*

*в) к шкафу электрическому (пульту управления и КИПиА) – должен быть обеспечен свободный доступ;*

*г) для гарантии осуществления технологического и технического обслуживания должно быть обеспечено свободное пространство и соответствующее освещение.*

*Климатическое исполнение установки сушильной УХЛ 3 по ГОСТ 15150.*

2.3. Установка сушильная должна быть рассчитана для эксплуатации в закрытых производственных помещениях при температуре от плюс 10°C до плюс 40°C.

2. Основание для разработки.

2.1. Основанием для разработки является договор с ООО «FENIKS - TORB» по теме «Разработка конструкторской документации и изготовление Сушильной установки – нестандартизированного оборудования серийного изготовления для реализации на предприятиях пищевой и аграрной промышленности».

3. Цель и назначение разработки.

*3.1. Целью разработки является создание Сушильной установки как комбинированного оборудования – само транспортирующее обрабатываемый материал (коконы тутового шелкопряда), оснащенное вибрационной системой и облучающим элементом инфракрасного излучения, а также ультразвуковой акустической приставкой, производительностью по конечному продукту 18 кг/ч с требуемыми параметрами.*

3.2. Сушильная установка является изделием серийного изготовления.

3.3. Назначение разработки:

Создания инновационной сушильной установки для реализации на предприятиях фермерских хозяйств и аграрной промышленности.

4. Источники разработки.

Источником разработки является техническое задание на сушильную установку.

5. Технические требования.

Сушильная установка должна соответствовать требованиям настоящего технического задания – «Правил перевозки грузов железнодорожным, водным и автомобильным транспортом» и комплекту конструкторской документации.

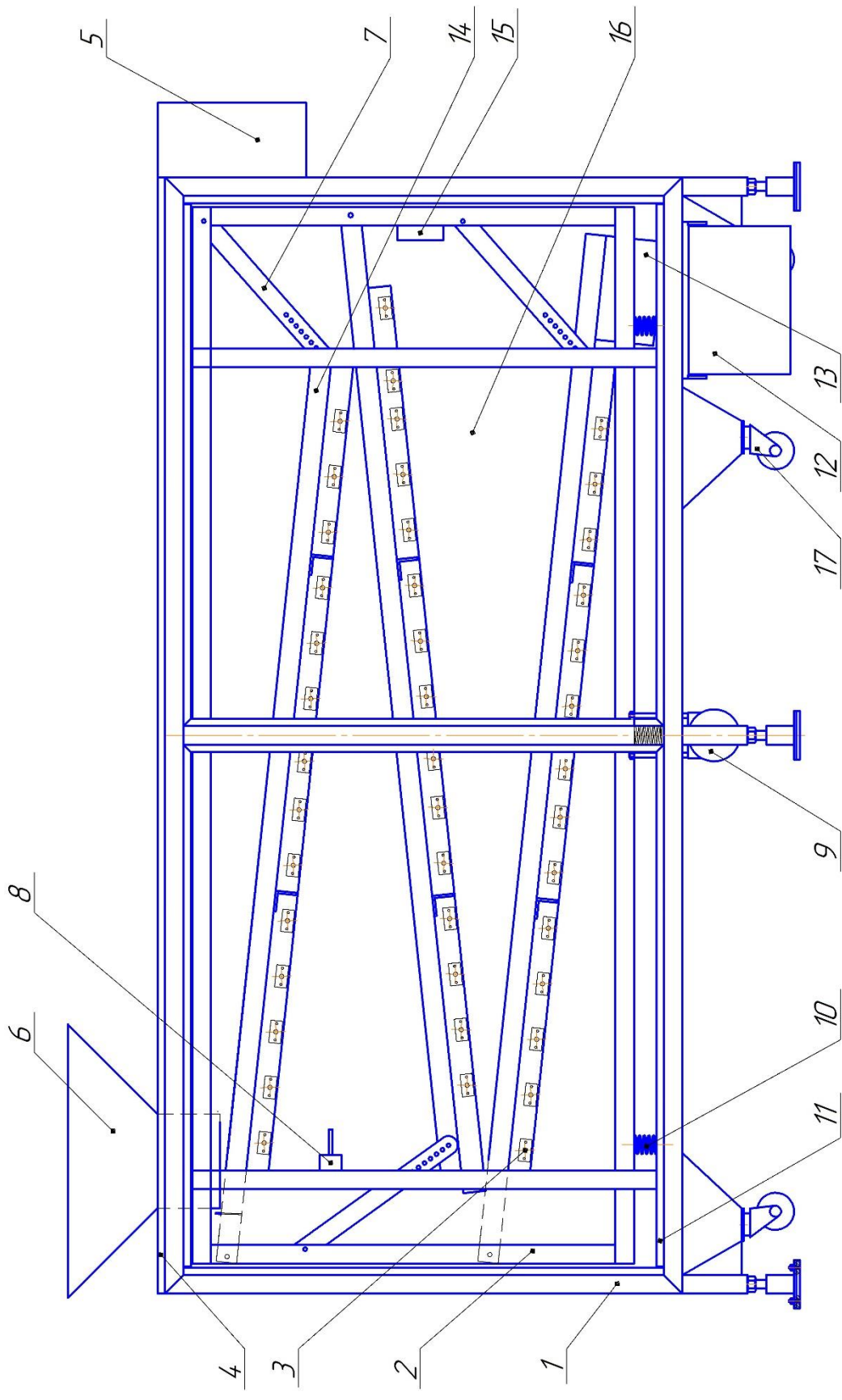
5. Основные параметры и характеристики.

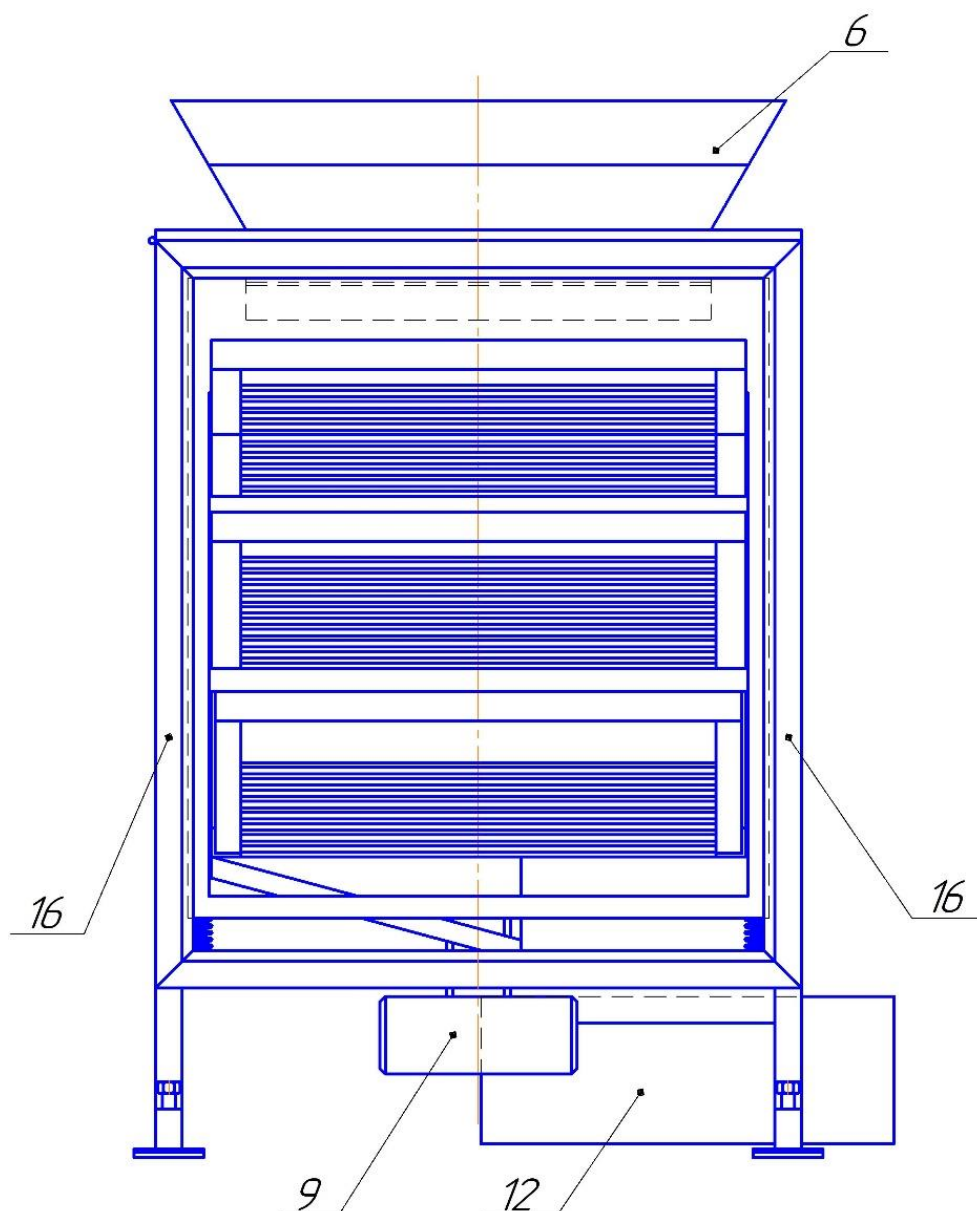
5.1. Основные параметры и размеры сушильной установки должны соответствовать приведенным в таблице 7.1.

**Таблица 7.1**

**Технические параметры сушильной установки**

№	Наименование показателей	Значение
1	Тип	Стационарный
2	Способ первичной переработки коконов тутового шелкопряда	Комбинированный, т.е. с вибрационными инфракрасным излучением
3	Производительность по сырью, кг/ч	25-28
4	Производительность по конечному продукту, кг/ч	28,0
5	Скорость передвижения коконов по виброконвейеру, м/мин	2
6	Время морки, мин	10
	Время сушки до относительной влажности 15%, 1 день	7
7	Рабочий объем сушильной камеры, м <sup>3</sup>	1,4
8	Длина пути (суммарная длина конвейерной решетки), м	4,65
9	Суммарная рабочая площадь конвейерной решетки, м <sup>2</sup>	2,9
10	Конечная влажность, %	15%
11	Диапазон рабочих температур в зоне первичной обработки коконов тутового шелкопряда, °С	45÷90
12	Вибрационный двигатель, тип и модель	
12.1	Частота электрического тока вибрационного двигателя, Гц	50
12.2	Напряжение питания вибрационного двигателя, В	220
12.3	Электрическая мощность вибрационного двигателя, кВт	1
12.4	Амплитуда (частота удара) вибрационного двигателя, удар/мин	240
13	Электрическая мощность инфракрасного излучателя, кВт	0,12
14	Количество керамических инфракрасных излучателей, шт	15
15	Ультразвуковая акустическая приставка, тип и модель	УАП-12
16	Максимальная потребляемая мощность, кВт	6
17	Габаритные размеры корпуса подвижного, мм, не более:	
17.1	Длина, мм	1700
17.2	Ширина, мм	680
17.3	Высота, мм	785
18	Габаритные размеры установки сушильной, мм, не более:	
18.1	- длина	2050
18.2	- ширина	900
18.3	- высота (при закрытых дверях)	1300
19	Масса, кг	400
20	Обслуживающий персонал (оператор), чел	1





1-стационарный корпус; 2-вибрационная камера; 3-керамические ИК-нагреватели; 4-верхнее окно; 5-блок управления; 6-бункер накопления живых коконов; 7-инструмент для регулировки угла наклона подгузников; 8-термопреобразователь; 9-вибрационный двигатель; 10-подушка для амортизации вибрации; 11-отражатель ИК-лучей; 12-лоток для обработанных коконов; 13-разгрузочное устройство; 14-наклонные поддоны; 15-генератор упругих волн; 16-боковые щиты; 17-колесо для перемещения.

**Рис. 7.3. Установка для морки и сушки коконов тутового шелкопряда**

## Технические параметры устройства

№	Наименование показателей	Значение
1	Тип	Стационарный
2	Способ обработки	вибрационным и инфракрасным излучением
3	Производительность обработки, кг/ч	60-70
4	Время обработки, мин	20
5	Температура обработки, °С	65÷75
6	Источник напряжения для устройства, В	220
7	Общая мощность устройства, кВт/ч	8,2
8	Мощность 1 инфракрасного излучателя, кВт/ч	0,2
9	Количество датчиков инфракрасного излучения, шт	36
10	Мощность вибратора, кВт/ч	0,9
11	Общая длина комплекта конвейера, м	7,65
12	Рабочая поверхность общего конвейерного агрегата, м <sup>2</sup>	7,65
13	Габаритный размер устройства:	
	- длина, м	3
	- ширина, м	1,2
	- высота, м	1,7
14	Размеры конвейерного комплекта:	
	- длина, м	2,55
	- ширина, м	1
	- высота, м	0,05



Рис. 7.4. Общий вид установки

Элементы сушильной установки, имеющие контакт с пищевым сырьем, должны изготавливаться из пищевых материалов, разрешенных нормативами.

#### 5.2. Требования к надёжности.

5.2.1. Сушильная установка относится к классу ремонтируемых, восстанавливаемых изделий.

5.2.2. Средняя наработка на отказ – не менее 24000 часов.

5.2.3. Полный назначенный срок службы – не менее 20 лет.

5.2.4. Среднее время восстановления работоспособного состояния – не более 48 часов.

5.3. Требования к конструкции.

5.3.1. Сушильная установка должна состоять из:

- 1) корпуса основания в сборе;
- 2) корпуса подвижного;
- 3) трех рядов керамических ИК-электронагревателей в сборе;
- 4) двух стенок боковых съемных;
- 5) двери верхней на петлях и запирающим устройством;
- 6) шкафа электрического (пульта управления с КИПиА);
- 7) ультразвуковой акустической приставки;
- 8) термопреобразователя в сборе;
- 9) демпфера (резиновый);
- 10) стакана демпфера;
- 11) пружины сжатия;
- 12) направляющей пружины;
- 13) стакана пружины;
- 14) вибрационного двигателя.

5.3.1.1. Корпус основания должен состоять из:

- продольных, поперечных и боковых стоек из профилей квадратного сечения балок;

- стоек С-образных перфорированных нержавеющей стальных профилей для крепления конвейерных решеток;

- четырех стаканов пружины.

5.3.1.2. Корпус подвижный должен состоять из:

- каркаса из нержавеющей стальных профилей квадратного сечения;

- трех платформ конвейера;

- трех сеток из нержавеющей проволоки с ячейками 10 x 10 мм;

- четырех пружин сжатия;

- четырех дисков направляющих пружин;

- четырех демпферов (резиновый);

- четырех стаканов демпферов;

- вибрационного двигателя.

5.3.1.3. Ряд керамического ИК-электронагревателя должен состоять из:

- планок;

- кронштейнов;

- керамических излучателей инфракрасных;

- электропроводов со штекерами.

5.3.1.4. Стенка боковая съемная должна состоять из:

- балок из нержавеющей стальных профилей квадратного сечения;

- стоек из нержавеющей стальных профилей квадратного сечения;

- листа наружного;

- листа внутреннего.

5.3.1.5. Дверь верхняя должна состоять из:

- балок из нержавеющей стальных профилей квадратного сечения;
- поперечин из нержавеющей стальных профилей квадратного сечения;
- листа наружного;
- листа внутреннего.

На двери верхней должно быть окошко прямоугольной формы для загрузки перерабатываемого материала (коконов).

5.3.1.6. Шкаф электрический должен состоять из:

- корпуса электрического шкафа с перфорированными профилями для крепления приборов электрооборудования внутри;
- двери с отверстиями для крепления кнопок управления и индикаторных ламп оповещения.

5.3.2. Система электропривода и автоматики сушильной установки должна обеспечивать возможность подключения внешних систем контроля ее работы и устранения неисправностей.

5.4. Требования к составным частям оборудования, исходным и эксплуатационным материалам.

5.4.1. Материал листов должен выбираться из нержавеющей стали. Пространство между наружными и внутренними листами должно быть начинено теплоизолирующим листовым пенепленом. Для листа внутреннего должен быть применен листовой нержавеющей металл глянцевой отражательной поверхностью.

5.4.2. Требования к основным материалам (их пределы применения, назначение, условия применения, виды испытаний) должны удовлетворять требованиям стандартов организации.

5.4.3. Материал корпусов и стен сушильной установки должен обладать свариваемостью. Углеродный коэффициент должен быть не более 0,38.

5.4.4. Твердость основного металла не должна превышать  $205H_{v10}$ , а зоны сварки не более  $230 H_{v10}$ .

5.4.5 Крепежные изделия должны быть изготовлены из сталей следующих марок:

- болты - сталь 35X;
- гайки - сталь 25X;
- шайбы - сталь 20X.

При выборе длины болтов должно обеспечиваться превышение резьбовой части над гайкой не менее чем на 1,5 шага резьбы.

5.4.6. Требования к сварочным материалам должны соответствовать требованиям стандарта организации.

Марка применяемых электродов сварочной проволоки: УОИН 13/55, Св-08Г2С/сви-1 и Св-08Х20Н9Г7Т/сви-1 ГОСТ 2246-70.

5.4.7. После изготовления установка сушильная должна быть окрашена в соответствии с требованиями стандарта организации.

5.4.8. Требования к материалам, виды их испытаний должны соответствовать стандартам организации и ОСТ 26.260.18-2004.

5.5. Требования к контролю над технологическим процессом.

В установке сушильной должен быть осуществлен контроль:

- за температурой внутри камеры;
- за амплитудой вибрационного двигателя.

5.6. Требования к технологичности и метрологическому обеспечению разработки в эксплуатации.

5.6.1. Сушильная установка должна быть в максимально-возможной степени технологична в условиях изготовления, монтажа, эксплуатации, ремонта и соответствовать требованиям ОСТ 26.260.18-2004.

5.6.2. Удельная трудоемкость изготовления определяется на стадии рабочего проектирования.

5.6.3. Контроль параметров должен производиться с применением стандартизированных методов и средств измерений.

5.7. Требования безопасности, защиты и по охране труда.

5.7.1. При разработке технической документации, монтаже и эксплуатации установки сушильной следует руководствоваться:

- ПБ 03.576-03 «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением»;
- «Правилами устройства электроустановок»;
- ГОСТ 12.2.003-74 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности;
- Требованиями безопасности по ГОСТ 12.2.003-74;

5.7.2. При разработке мероприятий по защите окружающей среды следует использовать РД 118.027714.36-94 «Порядок подготовки и составления обзора выбросов вредных веществ в атмосферу».

5.8. Требования эргономики эстетики.

5.8.1. Конструкция сушильных установок должна обеспечивать удобство обслуживания и ремонта в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.049-80.

5.8.2. Эстетические показатели.

Обобщенный эстетический показатель – 4 балла.

5.9. Требования к маркировке, упаковке и консервации

5.9.1. Маркировка, упаковка и консервация сушильной установки должна производиться в соответствии с требованиями стандарта организации и ОСТ 26.260.18-2004.

5.9.2. Транспортная маркировка должна наноситься на каждое грузовое место по ГОСТ 14192-77.

5.10. Требования к транспортированию и хранению

5.10.1. Транспортирование и хранение сушильной установки должны производиться в соответствии с стандартом организации и ОСТ 26.260.18-2004.

5.10.2. Сушильная установка должна транспортироваться железнодорожным и автомобильным транспортом в соответствии с действующими на этих видах транспорта правилами перевозки.

5.10.3. Требования к погрузочно-разгрузочным работам по ГОСТ 12.3.009-76.

5.11. Требования и изготовлению.

5.11.1. Сушильная установка должна быть изготовлена специализированной организацией, имеющей соответствующее разрешение на изготовление подобного оборудования.

В процессе изготовления сушильной установки должна применяться система контроля качеством, обеспечивающая высокое качество и ее надежность.

Сушильная установка должна изготавливаться в соответствии с требованиями промышленной безопасности. Каждый этап изготовления, от приобретения материалов до приемочных испытаний, должен подлежать строгому контролю. Стопроцентному контролю неразрушающими методами должны подвергаться все без исключения сварные соединения.

5.11.2. Материалы и комплектующие, поступающие на завод, должны пройти входной контроль и иметь сертификаты. При условии применения б/у (бывших в употреблении) материалов и комплектующих необходимо получение заключения лабораторных испытаний методом металлографии. Программа входного контроля разрабатывается по стандарту организации.

5.11.3. Изготовление, сварка, покраска и контроль должны соответствовать конструкторской документации и рабочим чертежам.

5.11.4. Подготовка поверхности под краску должна быть выполнена в соответствии с ГОСТ 9.402-2004.

Покрытие по внешнему виду должно соответствовать VII классу по ГОСТ 9.032-74 и по воздействию климатических факторов на группу 6 по ГОСТ 9.104-79.

5.12. Комплектность.

5.12.1. Комплектность поставки в соответствии со стандартом организации и ГОСТ 26.260.18-2004.

5.12.2. На стадии «Разработка рабочих чертежей» в комплект конструкторской документации должны входить следующие документы:

- 1) Сборочный чертеж изделия (СБ);
- 2) Чертежи деталей;
- 3) Спецификации;
- 4) Расчеты (РР);
- 5) Инструкция по эксплуатации (ИЭ);
- 6) Паспорт (ПС);
- 7) Перечень чертежей (ПЧ);
- 8) Перечень образцов (ПО);
- 9) Комплектовочная ведомость;
- 10) Упаковочный лист.

5.12.3. Чертеж общего вида сушильной установки подлежит согласованию с заказчиком.

6. Стадии и этапы разработки.

6.1. Разработка конструкторской документации должна осуществляться в одну стадию и три этапа.

Стадии и этапы разработки должны соответствовать указанным в таблице 7.3.

**Таблица 7.3**

**Стадии и этапы разработки установки**

Стадии разработки	Этапы выполнения	Исполнитель
Разработка комплекта конструкторской документации	1. Разработка и согласование рабочих чертежей; 2. Авторский надзор при изготовлении; 3. Корректировка чертежей.	ТашГТУ им. Ислам Каримова

7. Порядок контроля и приемки.

7.1. Правила приёмки.

Сушильная установка (сборочные единицы и детали), материалы и комплектующие изделия должны быть приняты отделом технического контроля предприятия-изготовителя и проверены на соответствие требованиям настоящего технического задания и стандарта организации.

7.2. При приемо-сдаточных испытаниях сушильной установки следует подвергать проверке:

- габаритные размеры в соответствии со сборочным чертежом и требованиям стандарта организации;
- качества сварных соединений сушильной установки следует проводить согласно требованиям стандарта организации;
- покрытие по ГОСТ 9.032-74;
- комплектность в соответствии со сборочным чертежом и требованиям стандарта организации;
- маркировку и упаковку в соответствии со сборочным чертежом и требованиям стандарта организации;
- массу в соответствии со сборочным чертежом и требованиям стандарта организации.

7.3. Методы контроля (испытаний).

7.3.1. Геометрические размеры и форма поверхностей должны измеряться с помощью средств, обеспечивающих погрешность не более 30% от установленного допуска на изготовление.

Габаритные размеры сушильной установки следует определять путем суммирования размеров входящих в них сборочных единиц и деталей.

7.3.2. Контроль качества поверхностей на отсутствие плен, закатов, расслоений, грубых рисок, трещин, снижающих качество и ухудшающих товарный вид, должен проводиться путем визуального осмотра.

7.3.3. Обязательная проверка наличия, содержания, мест расположения клейм на сварных швах и маркировки на готовом корпусе сушильной установки должна осуществляться визуальным осмотром.

7.3.4. Контроль качества сварных соединений сушильной установки (в объеме 100%) следует проводить следующими методами:

а) визуальным осмотром и измерением;

б) механическими испытаниями.

7.3.5. Контроль комплектности, консервации, окраски, упаковки необходимо проводить путем сопоставления объема и качества выполненных работ в соответствии с требованиями стандарта организации.

7.3.6. В процессе изготовления сборочных единиц и деталей необходимо проверять:

- соответствие состояния и качества свариваемых сборочных единиц и деталей, а также сварочных материалов требованиям стандартов и конструкторской документации;

- соответствие качества подготовки кромок и сборки под сварку требованиям стандартов и конструкторской документации;

- соблюдение технологических процессов сварки, разработанных в соответствии с требованиями стандартов и конструкторской документации.

### **7.3. Технические условия на конвейерную инфракрасную сушильную установку с использованием упругих волн для морки и сушки коконов тутового шелкопряда**

#### **1. Область применения**

Настоящий стандарт организации распространяется на «Конвейерную инфракрасную сушильную установку с использованием упругими волнами для морки и сушки коконов тутового шелкопряда» (в дальнейшем по тексту – СУШИЛЬНАЯ УСТАНОВКА).

Сушильные установки предназначены для промышленного применения при заготовке высококачественных коконов тутового шелкопряда для последующих технологических операций.

При выборе иных (дополнительных) областей применения сушильной установки, исходя из эксплуатационной целесообразности, необходимо учитывать требования настоящего стандарта организации.

*В зависимости от конструктивных особенностей, производительности и других характеристик сушильные установки могут изготавливаться в несколько модификаций, устанавливаемых в соответствии с утвержденными образцами-эталоном согласно требованиям настоящего стандарта организации и комплектом конструкторской документации (КД).*

Настоящий стандарт организации устанавливает требования к сушильным установкам, обязательные для выполнения предприятием разработчиком, предприятием – изготовителем и предприятием, эксплуатирующим сушильные установки.

Все требования настоящего стандарта организации являются обязательными и пригодными для целей сертификации.

Обязательные требования к качеству сушильной установки, обеспечивающие ее безопасность для жизни, здоровья и имущества населения, охраны окружающей среды, изложены в разделе 5.

Перечень комплекта технической документации приведен в приложении А.

Перечень деталей для замены в течение гарантийного срока приведен в приложении Б.

Перечень приборов и инструментов для контроля продукции приведен в приложении В.

## 2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте организации использованы ссылки на следующие стандарты и/или классификаторы:

ГОСТ 8.002-86 ГСИ Государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений. Основные положения.

ГОСТ 8.326-89 ГСИ Метрологическая аттестация средств измерений.

ГОСТ 8.513-84 ГСИ Проверка средств измерений. Организация и порядок проведения.

ГОСТ 9.032-74 ЕСЗКС Покрытия лакокрасочные. Группы, технические требования и обозначения.

ГОСТ 9.301-86 ЕСЗКС Покрытия металлические, неметаллические неорганические. Общие требования.

ГОСТ 9.401-91 ЕСЗКС Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов.

ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.2.135-95 Оборудование для переработки продукции в мясной и птицеперерабатывающей промышленности. Общие требования безопасности, санитарии и экологии.

ГОСТ 12.3.002-75 ССБТ Процессы производственные. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.4.026-76 ССБТ Цвета сигнальные и знаки безопасности.

ГОСТ 27.410-87 Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность.

ГОСТ 515-77 Бумага упаковочная битумированная и дегтевая. Технические условия.

ГОСТ 6465-76 Эмали ПФ-115. Технические условия.

ГОСТ 8828-89 Бумага-основа и бумага двухслойная водонепроницаемая упаковочная. Технические условия.

ГОСТ 10354-82 Пленка полиэтиленовая. Технические условия.

ГОСТ 12969-67 Таблички для машин и приборов. Технические требования.

ГОСТ 12970-67 Таблички круглые для машин и приборов. Размеры.

ГОСТ 12971-67 Таблички прямоугольные для машин и приборов. Размеры.

ГОСТ 14192-77 Маркировка грузов.

ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

ГОСТ 18242-72 Статистический приемочный контроль по альтернативному признаку. Планы контроля.

ГОСТ 18690-82 Кабели, провода, шнуры и кабельная арматура. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.

ГОСТ 21130-75 Изделия электротехнические. Зажимы заземляющие и знаки заземления.

ГОСТ 23170-78 Упаковка для изделий машиностроения. Общие требования.

ГОСТ 23216-78 Изделия электротехнические. Общие требования к хранению, транспортированию, временной противокоррозионной защите и упаковке.

ГОСТ 23511-79 Радиопомехи промышленные от электрических устройств, эксплуатируемых в жилых домах или подключаемых к их электрическим сетям. Нормы и методы измерений.

ГОСТ 24297-87 Входной контроль продукции. Основные положения.

ГОСТ 24555-81 СГИП Порядок аттестации испытательного оборудования. Основные положения.

ГОСТ 24634-81 Ящики деревянные для продукции, поставляемой на экспорт. Общие технические условия.

ГОСТ 36-27-77 Приборы и средства автоматизации. Обозначения условные в схемах автоматизации технологических процессов.

ГОСТ Р 50779-95 Приемочный контроль составных частей установки сушильной должен быть статическим по альтернативному признаку.

СанПиН 0120-01 Санитарно-гигиенические правила и нормы. Предельно допустимый уровень шума на рабочих местах.

СанПиН 0122-01 Санитарно-гигиенические правила и нормы. Предельно допустимый уровень вибрации на рабочих местах.

СНиП 2.01.02-85 Строительные нормы и правила. Противопожарные нормы.

КМК 2.09.04-98 Административные и бытовые помещения.

КМК 02.04.05-97 Отопление, вентиляция, кондиционирование.

ПР 50.2.009-94 Порядок проведения испытания и утверждения типа средств измерений.

Правила устройства электроустановок (ПЭУ).

Положения о порядке согласования применения электроэнергии в целях электронагрева, утвержденные приказом инспекции Узгосэнергонадзора от 30

января 2008 года № 10 и зарегистрированные Министерством юстиции Республики Узбекистан 29 февраля 2008 года; регистрационный № 1775 (вступает в силу с 10 марта 2008 г.).

Правила технической эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей (в извлечениях), утвержденные приказом начальника инспекции Узгосэнергонадзора от 23 января 2006 года № 15 и зарегистрированные Министерством Юстиции Республики Узбекистан от 28 февраля 2006 года; регистрационный № 1549 (вступает в силу с 10 марта 2006г.)

Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок, утвержденные приказом начальника инспекции по надзору в электроэнергетике КМ РУз от 19 июля 2006 года № 116 и Министерством труда и социальной защиты населения РУз от 19 июля 2006 года № 113 и зарегистрированные Министерством юстиции Республики Узбекистан 18 августа 2006 года; регистрационный № 1614 (вступает в силу с 28 августа 2006 г.).

### 3. Термины и определения

В настоящем стандарте организации применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1. Конвейерная вибрационная инфракрасная сушильная установка – оборудование, само транспортирующий обрабатываемый материал (коконы тутового шелкопряда), оснащенный вибрационной системой и облучающая установка инфракрасного излучения, а также ультразвуковая акустическая приставка, предназначенные для промышленного применения при заготовке высококачественных коконов тутового шелкопряда для последующих технологических операций.

3.2. Полная масса – масса сушильной установки, обусловленная её конструкцией и заданными характеристиками.

3.3. Безопасность сушильной установки – состояние, характеризующее совокупностью параметров конструкции и технического состояния сушильной установки, обеспечивающих недопустимость или минимизацию риска причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических лиц, государственному имуществу. Окружающей среде.

3.4. Сертификационные испытания – испытания репрезентативного образца сушильной установки на основании результатов, по которым делается заключение о соответствии требованиям настоящего стандарта организации типа сушильной установки, включаемое в техническое описание, представляемое заявителем при проведении сертификационных испытаний.

3.5. Эксплуатация – стадия жизненного цикла сушильной установки, включающая промежуток времени, когда указанный объект используется по назначению, с момента её приобретения для использования по назначению до момента утилизации.

### 4. Основные параметры и размеры

4.1. Конвейерная-инфракрасная сушильная установка с упругими волнами для морки и сушки коконов тутового шелкопряда должна состоять из:

- 1) корпуса основания в сборе;

- 2) корпуса подвижного,
- 3) трех рядов керамических ИК-электронагревателей в сборе;
- 4) двух стенок боковых съемных;
- 5) двери верхней на петлях и запирающим устройством;
- 6) шкафа электрического (пульта управления с КИПиА);
- 7) ультразвуковой акустической приставки;
- 8) термопреобразователя в сборе;
- 9) демпфера (резиновый);
- 10) стакана демпфера;
- 11) пружины сжатия;
- 12) направляющей пружины;
- 13) стакана пружины;
- 14) вибрационного двигателя.

4.1.1. Корпус – основание должен состоять из:

- продольных, поперечных и боковых стоек из профилей квадратного сечения балок;
- стоек С-образных перфорированных нержавеющей стальных профилей для крепления конвейерных решеток;
- четырех стаканов пружины.

4.1.2. Корпус подвижный должен состоять из:

- каркаса из нержавеющей стальных профилей квадратного сечения;
- трех платформ конвейера;
- трех сеток из нержавеющей проволоки с ячейками 10 мм x 10 мм;
- четырех пружин сжатия;
- четырех дисков направляющих пружин;
- четырех демпферов (резиновых);
- четырех стаканов демпфера;
- вибрационного двигателя.

4.1.3. Ряд керамических ИК-электронагревателей должен состоять из:

- планок;
- кронштейнов;
- керамических излучателей инфракрасных;
- электропроводов со штекерами.

4.1.4. Стенка боковая съемная должна состоять из:

- балок из нержавеющей стальных профилей квадратного сечения;
- стоек из нержавеющей стальных профилей квадратного сечения;
- листа наружного;
- листа внутреннего

Материалы листов должны состоять из нержавеющей стали. Пространство между наружными и внутренними листами должно быть начинено теплоизолирующим листовым пенопластом. Для листа внутреннего должен быть применен листовой нержавеющей металл с глянцевой отражательной поверхностью.

4.1.5. Дверь верхняя должен состоять из:

- балок, изготовленных из нержавеющей стальных профилей квадратного сечения;
- поперечин из нержавеющей стальных профилей квадратного сечения;
- листа наружного;
- листа внутреннего.

На двери верхней должно быть окошко прямоугольной формы, для загрузки перерабатываемого материала (коконов).

4.1.5. Шкаф электрический должен состоять из:

- корпуса электрического шкафа с перфорированными профилями для крепления приборов электрооборудования внутри;
- двери с отверстиями для крепления кнопок управления и индикаторных ламп оповещения.

4.2. Основные параметры и размеры сушильной установки должны соответствовать приведенным в таблице 7.1.

4.3. Условное обозначение сушильной установки:

*КИСУУВ-СМ 18-15 УХЛ4 С8 Ts \_\_\_\_\_ -01 - 2019.*

Схема условного обозначения сушильной установки:



1) *КИСУУВ* – тип: конвейерная-инфракрасная сушильная установка с упругими волнами;

2) *СМ* – назначение: морки и сушки;

3) группа условного обозначения основных параметров сушильной установки (производительность сушильной установки по конечному продукту) – 18,0 кг/ч;

4) номинальная влажность конечного продукта – 15%, соответствующей средней влажности атмосферы в среднеазиатском регионе;

5) *УХЛ* – климатическое исполнение, 4 - категория размещения сушильной установки;

6) *С8* - указание об исполнении сушильной установки (исполнение без учета сейсмического воздействия в условном обозначении не указывают), учитывающем сейсмическое воздействие (С) с интенсивностью 7-9 баллов (С7 - С9);

5. Общие технические требования

5.1. Характеристики

5.1.1. Требования назначения

5.1.1.1. Сушильная установка должна соответствовать требованиям настоящего стандарта организации, КД и договоров на поставку.

5.1.1.2. Сушильная установка должна соответствовать общим требованиям к оборудованию по ГОСТ 12.2.003.

5.1.1.3. Размещения сушильных установок для эксплуатации в зданиях и помещениях, отнесенных по взрывопожарной и пожарной опасности к категории В, следует производить в соответствии с требованиями

республиканских строительных норм и правил для сушильных установок этой категории.

5.1.1.4. Размещения сушильных установок для эксплуатации в зданиях и сооружениях, расположенных в районах с интенсивностью сейсмического воздействия 7-9 баллов, допускается при выполнении требований, учитывать условия эксплуатации, указанные в нормативной или конструкторской документации.

5.1.1.5. Конструкция сушильной установки должна обеспечивать возможность её строповки с помощью подъёмно-транспортного средства.

5.1.2. Значения показателей сушильных установок должны соответствовать приведенным значениям в таблице 7.4.

**Таблица 7.4**

**Значительные показателей установки**

Наименование показателя	Значение
Средняя наработка на отказ, ч, не менее	24000
Назначенный срок службы, лет	20
Точность в поддержании температуры в рабочей камере сушильной установки, % (от номинальной температуры):	
- регулируемым	$5 \pm 1$
- нерегулируемым	$5 \pm 1$
Уровень звука вибрационного двигателя и корпуса подвижного при установившемся режиме работы, дБ А, не более	80

Примечание: По окончании назначенного срока службы сушильной установки проводится ее обследование в соответствии с порядком, установленным Госгортехнадзором РУз.

5.1.3. Сушильные установки должны работать в эксплуатационных режимах, указанных в таблице 7.5, и сохранять работоспособное состояние на высоте над уровнем моря до 1500 м.

**Таблица 7.5**

**Эксплуатационные режимы сушильных установок**

Наименование эксплуатационного режима	Номинальная температура, °С	Номинальная амплитуда вибратора, удар/мин)	Режим работы	
			Число включений в час, не более	Относительная продолжительность включения ПВ, %, не более
Морки и сушки коконов шелкопряда	+40 – +85°С		20	50
Сушка кишмиша	+40 – +90°С		20	50
Сушка семечек лекарственных растений	+40 – +80°С		20	50

5.1.4. Сушильные установки изготавливают для работы от сети переменного тока с частотой 50 Гц и напряжением 220 В.

По требованию заказчика могут быть изготовлены установки сушильные для работы от сети переменного тока частотой 50 Гц с напряжением 200 и 240 В;

Сушильные установки должны быть работоспособными при подключении их к сети переменного тока с отклонениями от их номинальных значений частоты тока не более 2% и напряжения не более 10%.

5.1.5. Сушильные установки в зависимости от условий эксплуатации следует изготавливать при климатических исполнениях и категориях размещения (по ГОСТ 15150-69), приведенных в таблице 7.6.

**Таблица 7.6**

**Эксплуатационные режимы сушильных установок в зависимости от климатических условий.**

Наименование показателей	Значение
Вид климатического исполнения	УХЛ
Категория размещения	4
Предельные рабочие температуры, °С	от +30 до +70
Верхнее значение относительной влажности воздуха	80 % при +25 °С

Примечание: При записи климатического исполнения установки сушильной категорию его размещения указывают по категории размещения машинного помещения.

## 5.2. Требования надёжности

5.2.1. Значение показателей надёжности сушильных установок должны быть не ниже значений соответствующих показателей типового сушильного оборудования соответствующей классификации.

5.2.2. Устанавливают значения показателей надёжности в нормативно-технической документации.

5.2.3. Компоновка сушильных установок должна позволять проводить техническое обслуживание и ремонт.

5.2.4. Периодичность проведения технического обслуживания технологического оборудования должна совпадать с периодичностью технического обслуживания сушильных установок.

## 5.3. Требования эргономики эстетики

5.3.1 Конструкция сушильных установок должна обеспечивать удобство обслуживания и ремонта в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.049-80.

### 5.3.2 Эстетические показатели.

Обобщенный эстетический показатель – 4 балла.

## 5.4. Требования к конструкции

5.4.1. Корпус основания сушильной установки должен обеспечить теплоизоляцию рабочего пространства и перерабатываемого сырья от окружающей среды, а также установку в нем корпуса подвижных платформ

конвейерных, стен боковых съемных, рядов ИК-электронагревателей и шкафа электрического. Он должен представлять собой каркас параллелепипедной формы, облицованный с двух торцевых сторон листами из нержавеющей стали и снизу днищем. Пространство между наружными и внутренними листами торцевых стен и днищем должно быть начинено теплоизолирующим листовым пенопластом. Для внутренних листов стенок и днища следует применять листовой нержавеющей металл с глянцевой отражательной поверхностью.

В одном из торцевых стенок корпуса основания необходимо предусмотреть возможность проведения разводки электропроводов с теплостойкими штекерными разъемами для обеспечения электропитания керамических инфракрасных излучателей, ультразвуковой акустической приставкой и электрическим термопреобразователем.

5.4.2. Корпус подвижный устанавливается внутри корпуса основания на четыре пружины сжатия.

На нижних поперечинах каркаса в центре подвижного корпуса предусмотреть стакан пружины по отверстию для крепления вибрационного двигателя. Вибрационный двигатель крепится к каркасу посредством резиновых демпферов, стаканами демпферов и крепежными болтами, шайбами и гайками.

В целях обеспечения самотранспортирования коконов, на С-образных стойках каркаса подвижного корпуса следует предусмотреть перфорированные пазовые отверстия, способствующие изменению до оптимального угла наклона конвейерных решеток.

5.4.3. Стенки боковые и дверь верхней сушильной установки должны быть выполнены из негорючего или трудногорючего материала.

5.4.4. Облучатели инфракрасного излучения, вмонтированные в стойку корпуса основания, должны содержать тело излучателя трубчатой формы из керамики, нагреваемое теплоносителем - нихромовыми спиралями.

5.4.5. В местах, соприкасающихся с производственным сырьем – сетки должны изготавливаться из нержавеющей стали, пищевого алюминия или пищевых термостойких полимеров, разрешенных нормативами к применению Минздравом Республики Узбекистан и сертифицированных национальной системой сертификации РУз.

5.4.6. Система электропривода и автоматики сушильной установки должна обеспечивать возможность подключения внешних систем контроля работы сушильной установки и устранения ее неисправностей.

## 5.5. Требования к сварным соединениям

5.5.1. Сварные соединения должны быть выполнены согласно требованиям ГОСТ 14771, ГОСТ 11534, ГОСТ 16037 и требованиям чертежа. Детали с трещинами и надрывами к сборке под сварку не допускаются.

5.5.2. Свариваемые кромки деталей и прилегающие к ним зоны металла шириной не менее 20 мм перед сборкой должны быть очищены от загрязнений: масла, влаги, шлака, ржавчины.

5.5.3. При выполнении сварных соединений прерывистых швов, концы деталей должны быть сварены независимо от шага шва.

5.5.4. Места сварки (сварные швы и околошовные поверхности), выполненные при монтаже сушильной установки, должны быть защищены покрытием, предусмотренным для них в технической документации на сушильную установку.

5.5.5. Остальные требования к сварным сборочным единицам, отливкам из черных металлов, деталям из пластичных материалов, механически обработанным деталям, термической обработке, а также требования к составным частям сушильной установки – по действующей на них нормативно-технической документации (НТД).

#### 5.6. Требования к лакокрасочным покрытиям

5.6.1. Лакокрасочные покрытия поверхностей сушильной установки должны соответствовать классам покрытия, указанным в таблице 7.7.

5.6.2. Сигнальные цвета и знаки безопасности по ГОСТ 12.4.026-76 и в соответствии с требованиями настоящих технических условий, соответственно.

При этом:

- поверхности масленок, колпачков, сливных пробок, маслоуказателей должны иметь покрытие красного цвета;

- поверхности деталей вращения, не закрытые кожухом, кроме поверхностей деталей вращения, должны иметь покрытие желтого цвета.

Допускается выполнять окраску торцевых поверхностей деталей вращения в виде кольцевой полосы шириной не менее 20 мм в соответствии с указанием места окраски на чертежах.

**Таблица 7.7**

#### **Требования к лакокрасочным покрытиям установки**

Наименование поверхности с лакокрасочным покрытием	Класс покрытия по ГОСТ 9.032
Поверхности составных частей сушильной установки, в т.ч.:	VI
- наружные поверхности корпуса;	
- нелицевые поверхности створок дверей;	
- детали (кроме крепежных) и сборочные единицы крепления;	
- необработанные поверхности деталей, шины заземления;	V
Внутренние поверхности, не видимые изнутри ее. Внутренние поверхности, видимые изнутри.	

5.6.3. Сборочные единицы сушильной установки, не касающиеся с перерабатываемым сырьём, допускается покрывать грунтовкой с последующей его окраской после монтажа.

Допускается отсутствие окраски в труднодоступных местах.

5.6.4. Не должны покрываться лакокрасочными и другими материалами места, соприкасающиеся с производственным сырьём (овощи, фрукты, лекарственные травы и др.)

5.6.5. Для улучшения конденсации влаги внутри корпуса не допускается покрывать грунтовкой и другими материалами внутреннюю часть корпуса основания.

5.6.6. Цвет покрытия сушильной установки должен быть согласно технической документации.

5.6.7. Металлические покрытия должны соответствовать ГОСТ 9.301-86.

5.7. Требования к электрооборудованию

5.7.1. Электрические кабели и жгуты, примененные в сушильном оборудовании, должны быть разделанными с оконцованными проводами.

5.7.2. Корпусы электроустановок, корпус основания и корпус подвижный должны быть заземлены и на места крепления кабеля заземления должны быть нанесены обозначения «Знак заземления».

5.7.3. Радиопомехи, возникающие при работе электрооборудования сушильной установки, не должны превышать значений, установленных ГОСТ 23511-79 и национальными нормами допускаемых промышленных радиопомех. Напряженность поля радиопомех, создаваемых сушильной установкой, не нормируется.

5.8. Требования к устройствам управления и сигнализации

5.8.1. Требования к устройствам управления и сигнализации сушильной установки - по ГОСТ 36-27-77 «Приборы и средства автоматизации. Обозначения условные в схемах автоматизации технологических процессов»

5.9. Требования к сырью, материалам и покупным изделиям

5.9.1. Комплектующие изделия, узлы, агрегаты, сырьё, материалы и покупные изделия должны подвергаться входному контролю на соответствие установленным требованиям ГОСТ 24297.

5.9.2. Комплектующие изделия, которые подлежат обязательной сертификации, должны иметь сертификат соответствия.

5.9.3. Входной контроль качества поступающих на предприятие материалов и покупных изделий осуществляется визуально и документально:

- по внешнему виду;
- по наличию клейм технического контроля предприятий поставщиков;
- по их сопроводительным документам (паспортам);
- по сертификатам соответствия.

Проверяются материалы выборочно испытаниями на соответствие требованиям, в порядке, установленном конструкторской и технологической службами изготовителя продукции.

5.10. Комплектность.

5.10.1. Комплект обязательной поставки к сушильной установке должен включать инструмент, принадлежности, приспособления, запасные части и эксплуатационную документацию, в т.ч.:

- узлы, сборочные единицы и комплектующие сушильной установки в соответствии со спецификацией на сушильную установку, в т.ч. запасные части и материалы, рассчитанные на гарантийный срок эксплуатации сушильной установки, инструменты и принадлежности (ЗИП), необходимые для технического обслуживания и ремонта сушильной установки;

- запасные изделия для пуско-наладочных работ при монтаже (ЗИМ) в соответствии с их ведомостями;

- техническая документация, отправляемая с сушильным оборудованием, и Перечень деталей для замены в соответствии с приложениями Б и В, соответственно.

Номенклатура и количество единиц в каждой составляющей комплекта поставки должны быть указаны в КД и в настоящем стандарте организации.

Номенклатура и количество единиц в каждой составляющей комплекта обязательной поставки могут быть изменены в соответствии с договором на поставку.

5.10.2. Составные части сушильной установки: корпус основания, корпус подвижный, стенки боковые съемные, вибрационный двигатель, укомплектованный крепежными амортизационными деталями, контрольно-измерительные приборы и шкаф электрический с автоматической системой управления следует отправлять в собранном и отрегулированном виде, если нет другого требования заказчика.

Кронштейны крепления переключателей, шунтов, датчиков, клеммных коробок следует отправлять с присоединенными прижимами. Детали крепления двери верхней следует отправлять в собранном виде.

5.10.3. В разобранном виде допускается отправлять:

- детали с размерами в плане 1500x2000 мм и более;
- дверь верхняя.

5.11. Маркировка.

5.11.1. Установка сушильная должна быть снабжена табличкой, выполненной по ГОСТ 12969-67, ГОСТ 12970-67 и ГОСТ 12971-67.

В табличке для установки сушильной должны быть указаны:

- наименование или товарный знак изготовителя сушильной установки;
- тип сушильной установки, ее индекс, климатическое исполнение, категория размещения;

- производительность и объем камеры;

- заводской номер, месяц и год изготовления.

5.11.2. Маркировку грузовых мест следует производить по ГОСТ 14192-96.

Маркировка грузовых мест оборудования сушильной установки для труднодоступных районов (например, горных и т.п.) - по ГОСТ 15846-2002.

5.11.3. Металлические балки корпуса основания и корпуса подвижного должны иметь места для болтового присоединения заземлений и знак заземления по ГОСТ 21130-75.

#### 5.12. Упаковка.

5.12.1. Составные части оборудования сушильной установки перед упаковкой должны быть законсервированы.

Временная противокоррозионная защита - по ГОСТ 9.014-78.

Применение консервационных масел для консервации наружных поверхностей и поверхностей сетки платформы конвейерной не допускается.

Консервация составных частей сушильной установки должна обеспечивать их защиту до первой переконсервации: составных частей сушильной установки - до одного года, запасных частей - до 2,5 лет. Переконсервации должен проводить владелец сушильной установки.

В упаковочных листах должны быть указаны: дата и срок переконсервации, а также средства временной коррозионной защиты.

5.12.2. Консервацию и упаковку проводов и кабелей следует проводить с учетом требований ГОСТ 18690-82, электрооборудования (в т.ч. жгутов) - по ГОСТ 23216-78.

Кабели упаковывают в полимерную пленку по ГОСТ 10354-82 или в водонепроницаемую бумагу по ГОСТ 8828-89, ГОСТ 515-77.

Кабель, смотанный в бухту, должен быть крепко перевязан мягкой проволокой (по ГОСТ 3282-74 или другой НТД) или прядью того же кабеля, или лентой по ГОСТ 3560-73 (или другой НТД) не менее чем в 4-х местах, равномерно расположенных по окружности.

5.12.3 Упаковка оборудования и технической документации сушильной установки - по ГОСТ 23170-78.

5.12.4 Сопроводительная и эксплуатационная документация должны быть упакованы в пакет из пленки полиэтиленовой ГОСТ 10354 и уложена внутри упаковки.

5.12.5. Упаковка оборудования сушильной установки, направляемой в труднодоступные районы - по ГОСТ 15846-2002.

### 6. Требования безопасности охраны окружающей среды

#### 6.1. Техника безопасности.

Безопасность сушильной установки обеспечивается выполнением совокупности требований настоящего стандарта организации, а также соблюдением Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок, Правил устройства электроустановок (ПЭУ), Положения о порядке согласования применения электроэнергии в целях электронагрева, утвержденного приказом инспекции Узгосэнергонадзора от 30 января 2008 года № 10 и зарегистрированного Министерством юстиции Республики Узбекистан 29 февраля 2008 г., регистрационный № 1775 (вступил в силу с 10 марта 2008 года), Правил технической эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей» (в извлечениях), утвержденных приказом начальника инспекции Узгосэнергонадзора от 23 января 2006 года № 15 и

зарегистрированного Министерством юстиции Республики Узбекистан 28 февраля 2006 г. Регистрационный № 1549 (вступил в силу с 10 марта 2006 года), Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок, утвержденных приказом начальника инспекции по надзору в электроэнергетике КМ РУз от 19 июля 2006 года № 116 и Министерством труда и социальной защиты населения РУз от 19 июля 2006 года № 113 и зарегистрированного Министерством юстиции Республики Узбекистан 18 августа 2006 года Регистрационный № 1614 (вступил в силу с 28 августа 2006 года), а также СНиП 2.01.02.85 Строительные нормы и правила. Противопожарные нормы.

Производственный процесс должен осуществляться на типовом сертифицированном технологическом оборудовании.

Технологическое электрооборудование должно соответствовать требованиям Правил устройства электроустановок (ПЭУ).

Размещение и установка технологического оборудования должны обеспечивать безопасность, устойчивость и удобство для обслуживания и ремонта, соблюдения последовательности технологических операций.

Требования пожарной безопасности помещения, предназначенного для изготовления сушильной установки, должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.004.

Требования к воздуху рабочей зоны должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.005.

Требования безопасности к производственным цехам и оборудованию должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003.

Технологические процессы должны соответствовать общим требованиям безопасности по ГОСТ 12.3.002.

Требования безопасности при проведении сварочных работ должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.3.003.

Требования безопасности при лакокрасочных работах должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.3.005.

Уровень шума на рабочих местах не должен превышать ПДУ в соответствии СанПиН 0120-01, вибрации СанПиН 0122-01.

Вредные вещества, выделяющиеся в воздух рабочей зоны при производстве сушильной установки и их ПДК должны соответствовать ГОСТ 12.1.005-88.

Производственные и бытовые помещения должны соответствовать КМК 2.09.04-98 (Административные и бытовые помещения).

Вся работа должна осуществляться при вентиляции помещения в соответствии с требованиями КМК 02.04.05-97 (Отопление, вентиляция, кондиционирование).

Производственные помещения должны быть обеспечены знаками безопасности в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.026, плакатами по ТБ НБ.

Полы производственных помещений и участков площадки обслуживания оборудования необходимо регулярно очищать от грязи и масла.

Своевременно должна проводиться очистка поверхностей, технологического оборудования, регулярно проводится влажная уборка помещений с применением разрешенных моющих и дезинфицирующих средств.

Работающие на производстве сушильной установки должны проходить предварительный и периодический медицинский осмотр согласно приказу Минздрава РУз №300 от 06.06.2000 года.

К работе по производству сушильной установки допускаются лица, достигшие совершеннолетия, прошедшие обучение и инструктаж по технике безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004.

Лица, занятые во вредных условиях труда, должны быть обеспечены индивидуальными средствами защиты.

Персонал на рабочих местах должен находиться в полном комплекте спецодежды (колпаки, халаты, куртки), которая должна своевременно меняться.

## 6.2. Охрана окружающей среды.

Охрана окружающей среды при производстве сушильной установки должна отвечать требованиям правил (применять конкретно правила, касающиеся разделов ГОСТ 12.2.135), а также должны соответствовать следующим требованиям:

Требования к охране окружающей среды в соответствии с требованиями ГОСТ 17.2.3.02.

Конструкция механических и гидравлических частей технологического оборудования и установок для производства сушильной установки должны обеспечивать:

- отсутствие утечек соответственно смазочной и гидравлической жидкостей в процессе эксплуатации;
- возможность сбора смазочного масла и гидравлической жидкости для их замены, регенерации и утилизации.

Уровень звукового давления при установившемся режиме работы производства не должен превышать 80 дБА.

Утилизацию оборудования и установок, а также их составных частей (в связи с достижением предельного состояния и (или) списанием) следует осуществлять по нормам утилизации машиностроительного оборудования, установленным органами охраны окружающей среды.

## 7. Правила приемки

7.1. Составные части (детали, сборочные единицы) и сама сушильная установка в сборе (в т.ч. и ЗИП, ЗИМ) должны быть приняты службой технического контроля предприятия - изготовителя с целью определения их пригодности к отправке потребителю (табл. 7.8).

Параметры, размеры, требования, подлежащие контролю, объем выборки и виды дефектов должны быть указаны в технической документации на сушильную установку.

7.2. Проверка соответствия качества сушильных установок проводится при следующих испытаниях: приёмо-сдаточные; периодические; сертификационные.

**Таблица 7.8**

**Правила приема установки**

Вид испытаний	Периодичность испытаний	Количество установок сушильных	Количество сушильных установок в партии, из которой отбирают сушильное оборудование для испытаний
Предварительные	Разовое - после изготовления опытных образцов	Все сушильные установки, количество которых определено техническим заданием на разработку	
Приемочные	То же	1	Все сушильные установки, прошедшие предварительные испытания
Квалификационные	При постановке на производство установки данной сушильной модели	1	Не менее 3
Периодические	Не реже одного раза в 3 года	1	Не менее 7
Типовые	При каждом изменении конструкции	1	Не менее 3

Примечание: При проведении испытаний у изготовителя сушильного оборудования отбирают из числа прошедших приемочный контроль и готовых к отправке потребителю. При проведении испытаний на объекте эксплуатации отбирают из числа изготовленных не более чем за 18 мес. до начала испытаний.

Периодичность проведения испытаний сушильной установки, количество сушильного оборудования, которое следует подвергать этим испытаниям, и количество сушильного оборудования в партии, из которой отбирают установки сушильные для испытаний, должны соответствовать таблице 7.7.

**7.3. Приёмо-сдаточные испытания**

7.3. 1. Приемочный контроль составных частей сушильной установки должен иметь следующий план контроля и приемочный уровень дефектности:

а) план контроля:

- уровень контроля - II,
- тип плана контроля - одноступенчатый,
- вид контроля - по ГОСТ Р 50779-95;

б) приемочный уровень дефектности вакуум-насоса, вакуум-камеры (если он выпускается как запасная часть), герметичность закрывания дверей, устройства контроля режима сушки и ЗИП, ЗИМ:

- 0 % - для критических дефектов;
- 2,5 % - для значительных дефектов;
- 6,5 % - для малозначительных дефектов.

Приемочный уровень дефектности остальных сборочных единиц и деталей оборудования:

- 0 % - для критических дефектов;
- 6,5 % - для значительных дефектов.

Производственный цикл при непрерывном статистическом контроле - 1 год.

7.3.2. Покупные изделия, материалы и сырье следует подвергать входному контролю по ГОСТ 24297-87.

При входном контроле низковольтное комплектное устройство (НКУ) должно быть проверено на функционирование.

При поступлении от заказчика или потребителя сушильной установки рекламаций или претензий к качеству покупного изделия изготовитель сушильной установки при входном контроле должен использовать другой более жесткий вид контроля по ГОСТ 50779-95.

7.3.3. Составные части сушильной установки, детали и отливки, производимые другими изготовителями, должны быть подвергнуты изготовителем сушильной установки визуальному контролю для обнаружения возможных повреждений этого оборудования при транспортировании.

Изготовитель оборудования, деталей и отливок при получении претензий от изготовителя сушильной установки должен в течение 3-х суток проинформировать его о принятом решении по устранению дефекта.

Составные части сушильной установки, упомянутые в 7.1, должны быть подвергнуты приемосдаточным испытаниям его изготовителем по программам и методикам, утвержденным в установленном порядке.

Объем выборки образцов составных частей сушильной установки определяется изготовителем сушильной установки и указывается в технической документации.

#### 7.4. Периодические испытания

7.4.1. Периодические испытания сушильной установки проводят с целью проверки стабильности качества изготовления и возможности продолжения его выпуска.

Периодические испытания должны включать проверку всех обязательных требований, установленных настоящим стандартом, Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок, Правил устройства электроустановок, Положения о порядке согласования применения электроэнергии в целях электронагрева и Правил технической эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей.

7.4.2. При неудовлетворительных результатах периодических испытаний хотя бы по одному из пунктов программы следует проводить повторные испытания по этим пунктам на удвоенном числе соответствующих составных частях сушильной установки, взятых из той же партии. Результаты повторных испытаний являются окончательными.

#### 7.10. Сертификационные испытания

7.10.1. Изготовленные согласно настоящему стандарту организации и конструкторской документации сушильные установки подлежат сертификационным испытаниям по программам и методикам, составленным в соответствии с нормативными документами.

Сертификационные испытания проводит специализированная организация, аккредитованная на право проведения испытаний.

#### 8. Методы контроля

##### 8.1. Требования к средствам измерений.

8.1.1. Средства измерений должны быть проверены в соответствии с требованиями ГОСТ 8.002-86 и ГОСТ 8.513-84.

Испытательное оборудование должно быть аттестовано по ГОСТ 24555, нестандартизированные средства измерения должны пройти метрологическую аттестацию по ПР 50.2.009-94 "Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений".

##### 8.2. Подготовка к испытаниям.

8.2.1. До проведения приемочных и квалификационных испытаний установки сушильной должны быть выполнены испытания на герметичность дверей камеры, устройства контроля режима сушки.

Допускается не проводить испытания на надежность заимствованного из других сушильных установок оборудования при условии, что оно было испытано ранее и по нему у изготовителя имеется обоснование сохранения показателей надежности в условиях эксплуатации.

Низковольтное комплектное устройство должно иметь документ, подтверждающий его надежность.

8.2.2. До проведения периодических испытаний изготовитель должен представить материалы, подтверждающие показатели надежности сушильной установки.

Подтверждение показателей надежности проводится на основании испытания на надежность сушильной установки или его составных частей (оборудования) в период между периодическими испытаниями или по

результатам эксплуатационных наблюдений за работой аналогичных установок сушильных.

Методы и планы испытаний на надежность и наблюдений в процессе эксплуатации - по ГОСТ 27.410-87.

8.2.3. Для проведения типовых испытаний сушильной установки, в которых применено оборудование с внесенными изменениями, способными повлиять на техническую характеристику сушильной установки и/или его эксплуатацию, должны быть проведены испытания каждого измененного оборудования.

При положительных результатах испытаний измененного оборудования допускается проведение типовых испытаний сушильной установки.

### 8.3. Проведение испытаний сушильной установки.

8.3.1. Испытания сушильного оборудования следует проводить в соответствии с Программами и методиками испытаний, согласованными в установленном порядке.

8.3.1.1. До начала испытаний сушильной установки изготовитель должен иметь "Акт технической готовности установки сушильной".

Испытания должны проводиться на территории изготовителя сушильной установки. Проведение испытаний сушильной установки на объекте эксплуатации должно быть согласовано с Государственной инспекцией Республики Узбекистан «Саноатгеоконтехназорат».

Не допускается замена испытаний сушильной установки испытанием его макета.

При проведении испытаний нескольких единиц сушильного оборудования одного типа и вида допускается определять количественные и качественные характеристики одной сушильной установки - типового представителя группы (определяется разработчиком сушильной установки). У остальных единиц сушильного оборудования группы должны быть проверены характеристики, которые отличаются от характеристик типового представителя.

При неудовлетворительных результатах испытаний по одному или нескольким показателям возобновление повторных испытаний допускается только после установления причин недостатков и их устранения.

## 9. Транспортирование и хранение

9.1. Транспортирование оборудования сушильной установки допускается осуществлять любым видом транспорта в соответствии с действующими на них правилами перевозок.

При транспортировании сушильной установки изготовитель должен учитывать воздействие атмосферы типа III по ГОСТ 15150-69.

9.2. Условия и сроки хранения и транспортирования оборудования сушильной установки, ЗИП и ЗИМ в упаковке и (или) консервации изготовителя должны соответствовать указанным в таблице 7.9.

Допускается хранение оборудования сушильной установки в условиях хранения 8 по ГОСТ 15150-69 как у изготовителя, так и у заказчика по 3 мес. с общим сроком хранения не более 6 мес.

**Таблица 7.9**

**Условия и сроки хранения установки**

Климатическое исполнение сушильной установки по ГОСТ 15150-69	Оборудование сушильной установки		
	механическое с установленным электрооборудованием	механическое без электрооборудования	ЗИП и ЗИМ
Условия хранения по ГОСТ 15150-69, раздел 10			
УХЛ	2	5	2
Срок хранения, месяц, не более			
УХЛ	21	21	57
Условия транспортирования по ГОСТ 15150-69, раздел 10			
УХЛ	8	8	8
Срок транспортирования, месяц, не более			
УХЛ	3	3	3

**10. Указания по монтажу и эксплуатации**

10.1. Монтаж установок сушильных следует проводить в соответствии с требованиями настоящих технических условий и технической документацией на монтаж сушильной установки.

10.2. Эксплуатация сушильных установок должна проводиться в соответствии с требованиями настоящих технических условий, КД, а также соблюдением Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок, Правил устройства электроустановок, Положения о порядке согласования применения электроэнергии в целях электронагрева и Правил технической эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей, Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен литературный обзор и анализ состояния и применения перспективной техники и технологии для морки и сушки коконов тутового шелкопряда. Изучены классификации и характеристики сушильных установок.

Получены результаты, имеющие своеобразный подход к их созданию, учитывающие нелинейные явления для физических процессов.

Решены стационарные задачи при воздействии внешних источников энергии – инфракрасных и упругих волн. Показаны условия линеаризации задач для теплофизических процессов, изучаемых в теории сушки сложных сред продуктов.

Экспериментально и теоретически разработано расположение инфракрасных излучателей и датчиков температуры с целью равномерности сушки коконов тутового шелкопряда. Это позволяет исключить локальные перегревы.

Обоснована зависимость мощности облучения в точке нахождения обезвоживаемого объекта от расстояния до излучателей, между излучателями и способами получения равномерного инфракрасного облучения обезвоживаемых продуктов с помощью элементов-отражателей соответствующей конфигурации в вибрационной сушильной установке с ИК-нагревом.

Формирование коконов тутового шелкопряда и свойства шелковых волокон были представлены впервые. В частности, была объяснена разница теплопроводности в разных типах волокон и в разных направлениях одного и того же волокна. Теплопроводность в осевом направлении выше, чем теплопроводность в радиальном направлении, поскольку тепло можно легко проводить в направлении макромолекулярной цепи, но не в направлении, перпендикулярном макромолекулярной цепи.

Тепло проводится путем молекулярного столкновения в радиальном направлении, что снижает скорость теплопроводности. Кокон тутового шелкопряда демонстрирует превосходные теплоизоляционные свойства, которые намного превосходят другой сорт коконов.

Основам переноса тепла и влаги считаются пористые материалы, поскольку стенка кокона также является своего рода пористым материалом. Факторы, влияющие на перенос тепла и влаги через пористые материалы, были представлены подробно. На процесс теплопередачи влияют теплопроводность, конвекция, излучение и скрытое тепло, вызванное изменением фазы. На процесс переноса влаги влияют диффузия влаги, конвекция, образование водяного пара, вызванное изменением фазы, капиллярным и гравитационным эффектом.

Метод конечных объемов, который решает уравнения в частных производных, поскольку уравнения в них используются в уравнениях сохранения энергии и массы, был применён к процессу тепло- и влагопереноса через коконы тутового шелкопряда.

Моделировались процессы тепло- и влагопереноса и их взаимодействие в пористой стенке кокона тутового шелкопряда. Изложена базовая структура стенки кокона в модели. Чтобы сделать расчет модели осуществимым, были сделаны некоторые предположения о построении модели.

Были представлены уравнения сохранения энергии и массы, которые описывают процессы переноса тепла и влаги в стенках кокона тутового шелкопряда в качестве определяющих уравнений. Метод конечных объемов был применен при дискретизации управляющих уравнений для получения численного решения модели.

Подробно были показаны уравнения дискретизации с постоянным и переходным режимом сохранения в одномерном, двумерном и трехмерном форматах.

Рассмотрены основы переноса тепла и влаги через стенку кокона - пористого материала. Подробно представлены факторы, влияющие на перенос тепла и влаги через стенку кокона. На процесс теплопередачи влияют теплопроводность, излучение и теплота, на процесс переноса влаги диффузия влаги, теплота парообразования, капиллярный и гравитационный эффекты.

Моделировались тепло- и влагоперенос и их взаимодействие в пористой стенке кокона тутового шелкопряда. Изложена базовая структура стенки кокона в модели. Приняты некоторые допущения при получении математических выражений для расчёта процесса сушки в вибрационных ИК-установках.

Представлены уравнения сохранения энергии и массы, которые описывают процессы переноса тепла и влаги в стенках кокона тутового шелкопряда в качестве определяющих уравнений.

Применён метод конечных объемов при дискретизации управляющих уравнений для осуществления численного решения модели. Подробно показаны уравнения дискретизации с постоянным и переходным режимами сохранения в одномерном, двумерном и трехмерном форматах.

Исследована кинетика сушки путем различных комбинаций параметров вибрации и условий сушки для получения эффективных коэффициентов диффузии влаги. Проанализирована «универсальность»  $B$ , полученная из различных комбинаций  $A$  и  $F$  и ее влияние на  $D_{эфф.}$ , также получено выражение для удельного потребления энергии при различных условиях эксплуатации и определении оптимальных энергетических характеристик.

Использование вибрации улучшило процесс сушки ИК-нагревом и скорость сушки. Среди протестированных условий самая высокая амплитуда  $A=0,016$  м и самая низкая частота  $F=8,15$  Гц усилили  $D_{эфф.}$

Анализ литературных источников показывает, что имеющиеся эмпирические уравнения для оценки  $D_{эфф.}$ , основанные только на параметре  $B$ , могут быть неадекватными, так как энергия вибрации должным образом не определяется количественно только этим параметром. Для одного и того же значения  $B$  были получены разные значения  $D_{эфф.}$ , позволяющие понять, что кинетику сушки в вибрационной установке с ИК-нагревом необходимо исследовать для варьируемых комбинаций параметров  $A$  и  $F$  и установить оптимальные рабочие условия.

Удельное энергопотребление сушки в вибрационной установке с ИК-нагревом ниже для самого высокого  $A$  и самого низкого  $F$ . Установлено, что в целом сушка в вибрационной установке с ИК-нагревом протекает интенсивнее по сравнению с процессом в обычной установке, потребляется меньше энергии, процесс протекает при более низкой температуре и сокращается продолжительность.

Не всегда наблюдаются более высокие скорости и низкое энергопотребление сушки в вибрационной установке с ИК-нагревом при тех же рабочих условиях, когда сопротивление массообмену в газовой фазе значительно, по сравнению с внутренней диффузией.

Разработано программное обеспечение математической модели предварительной переработки живого шелкопряда. С помощью программы выполняются расчёты технологического процесса предварительной переработки живого шелкопряда с инфракрасными лучами, тем самым достигается энергия сбережения и повышения качества продукта. Предлагаемая программа ускоряет обработку научных результатов испытаний, снижает вероятность возникновения ошибок, неизбежных при обработке большого объема экспериментальных данных, уменьшает трудозатраты на расчеты и, как следствие, повышает производительность труда.

Полученные результаты экспериментов подтверждают, что при применении вибрации и ИК-излучения ускоряется процесс первичной переработки коконов тутового шелкопряда. Определено, что живые коконы, обработанные инфракрасным облучением при температуре 65-70 °С, с сопровождением вибрационных волн, за 8-10 минут обработки погибнут на 100% и в течение 7 дней при комнатной температуре 38-40 °С высохнут по конечному состоянию влаги до 10-12%.

В результате исследования найдены оптимальные температура и время для первичной переработки коконов тутового шелкопряда. За счет кратковременной переработки улучшается конечный продукт.

Подана заявка на полезную модель «Устройство для морки и сушки коконов». FAP 2019 0149 от 30.07.2019 г.

На программный продукт «Программное обеспечение математической модели предварительной переработки живого шелкопряда» получено DGU 06931 от 23.09.2019 г.

Разработано техническое условие Ts-26985714-01-2019 на «Конвейерную инфракрасную сушильную установку с использованием упругих волн для сушки и морки коконов тутового шелкопряда».

Разработаны технические задания ТЗ-26985714-03-2019 на «Конвейерную инфракрасную сушильную установку с использованием упругих волн для сушки и морки коконов тутового шелкопряда».

Результаты научных исследований рекомендованы для использования при разработке проектно-конструкторской документации на сушильные установки с ИК-нагревом и вибрациями в учебном процессе ТашГТУ при чтении курсов «Основы технологических процессов и аппаратов».

Разработки и рекомендации проекта по технике и технологии первичный переработки коконов тутового шелкопряда внедрены в ООО «Агropилла». В результате применения техники и технологии морки и сушки в установке экономия электроэнергии при применении вибрационной ИК-установки составляет 10 раз по сравнению с действующими установками, в среднем за год общий экономический эффект составил 150 030 400 сум.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мирзиёев Ш.М. Указ Президента Республики Узбекистан от 07.02.2017 года №4947 “О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан”.
2. Мирзиёев Ш.М. Постановления Президента Республики Узбекистан от 24.03.2017 года №4881 “О мерах по дальнейшей поддержке предприятий шелковой отрасли республики”.
3. Мирзиёев Ш.М. Постановления Президента Республики Узбекистан от 29.03.2017 года №2856 “О мерах по организации деятельности ассоциации “Узбекипаксаноат””.
4. Мирзиёев Ш.М. Миллий тараққиёт йўлимизни қатъият билан давом эттириб, янги босқичга кўтарамиз. –Тошкент: “Ўзбекистон” НМИУ, 2017. -592 б.
5. Мирзиёев Ш.М. Постановления Президента Республики Узбекистан от 12.01.2018 года №3472 “О мерах по дальнейшему развитию шелковой отрасли в республике”.
6. <http://anteytour.ru/nature/210-03/>
7. Hong-Ping Zhao, Xi-Qiao Feng, Shou-Wen Yu, Wei-Zheng Cui, Feng-Zhu Zou. Mechanical properties of silkworm cocoons. *Polymer* (46), 2005. P.9192-9201.
8. Kirshboim S., Ishay J.S. Silk produced by hornets: thermophotovoltaic properties-a review. *Comp Biochem Physiol, Part A, Mol.Integr.Physiol* 2000;127:1–20.
9. Akai H. Anti-bacteria function of natural silk materials. *Int. J. Wild Silkmths Silk*, 1997, 3:79-81.
10. Lee Y.W. Silk reeling and testing manual. Rome: Agricultural Services Bulletin no. 136, FAO of the United Nations, 1999, chapter 2.
11. Perez-Rigueiro J., Viney C., Llorca J., Elices M. Mechanical properties of single-brin silkworm silk. *Polymer* 2000;41: 8433-9.
12. Jin H.J., Kaplan D.L. Mechanism of silk processing in insects and spiders. *Nature* 2003;28;424:1057–61.
13. Shao Z.Z., Vollrath F. Surprising strength of silkworm silk. *Nature* 2002 Aug 15;418(6899):741.
14. Kaplan D.L., Adams W.W., Farmer B., Viney C. Silk: Biology, Structure, Properties, and Genetics. *Materials science and biotechnology. ACS symposium series, Vol. 544, 1994. p. 2–16.*
15. Hayashi C.Y., Shipley N.H., Lewis R.V. Hypotheses that correlate the sequence, structure, and mechanical properties of spider silk proteins. *Int J Biol Macromol.* 1999 Mar-Apr;24(2-3):271-5.
16. Putthanarat S., Stribeck N., Fossey S.A., Eby R.K., Adams W.W. Investigation of the nanofibrils of silk fibers. *Polymer* 2000;41:7735–47.
17. Saravanan D. Spider silk – structure, properties and spinning. *J.Textile and apparel. Technology and management. Vol.5. Issue 1, 2006. P.1-20.*

18. Makoto Kiyosawa, Emi Ito, Koji Shirai, Rensuke Kanekatsu, Mikihiko Miura, Kenji Kiguchi. Cocoon Spinning Behavior in the Silkworm, *Bombyx mori*: Comparison of Three Strains Constructing Different Cocoons in Shape. *Zoological Science* 16(2):215-223. 1999.
19. Mikihiko M., Naoya K., Taro N., Majibur R. Cocoon repair behavior of *Bombyx mori* silkworm. *J of insect biotechnology and sericology* 2010, 79, p.85-93.
20. Xing Jin, Jin Zhang, Weimin Gao, Jingliang Li. Cocoon of the silkworm *Antheraea pernyi* as an example of a thermally insulating biological interface. *Biointerphases*, 2014. vol. 9, no. 3, pp. 031013-1-031013-11.
21. Kaise T., Miura M., Morikawa H., Iwasa M. Stochastic Models for the Direction of a Silkworm Body during Cocoon Construction. *J Insect Biotechnol Sericol* 2003;72:171–175.
22. Mochizuki S., Miura M., Morikawa H., Iwasa M., Nakazawa M. Development of a realistic visualization system of silkworm spinning behavior using a personal computer and open GL. *J Insect Biotechnol Sericol* 2001;70:211–216.
23. Musayev E. Optoelectronic nondestructive testing techniques of cocoon properties and applications, *NDT and E International*, 38, 59-68.
24. Zhang H., Magoshi J., Becker M., Chen J.Y., Matsunaga R. Thermal properties of *bombyx mori* silk fibers. *J Appl Polym Sci* 2002;86:1817–2002.
25. Tsukada M.J. *J Appl Polym Sci* 1978;22:543–54.
26. Tsukada M., Freddi G., Minoura N., Allara G. Preparation and application of porous silk fibroin materials. *J Appl Polym Sci* 1994; Vol.54, Issue 4:507-514.
27. Freddi G., Svilokos A.B., Ishikawa H., Tsukada M. Chemical composition and physical properties of *Gonometa rufobrunnae* silk. *J Appl Polym Sci* 1993;48:99–106.
28. Herrmann H.J., Roux S. Statistical models for the fracture of disordered media. *The Netherlands: Elsevier Science*; 1990 (chapter 6). 353 p.
29. Tsai L., Yuan F., Prakash V., Dattatraya P., Dandekar. *J App Phy* 105, 2009.
30. Chen X., Chandra N. The effect of heterogeneity on plane wave propagation through layered composites. *Comp. Sci. Technol.* (2004) 64, 1477–1493.
31. Zhuang S., Ravichandran G., Grady D.E. An experimental investigation of shock wave propagation in periodically layered composites. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 51 (2003), 245–265.
32. Shiozaki H., Tsukada M., Gotoh Y., Kasai N., Freddi G. *J Appl Polym Sci* 1994;52:1037–45.
33. Tsukada M., Freddi G., Monti P., Bertoluzza A. *J Appl Polym Sci* 1993; 49:1565–71.
34. Tsukada M., Gotoh Y., Shiozaki H., Freddi G., Crighton J.S. *J Appl Polym Sci* 1994;51:345–52.
35. Shen Y., Johnson M.A., Martin D.C. Microstructural characterization of *Bombyx mori* silk fibers. *Macromolecules*. 1998;31:8857–64.

36. Yao J., Nakazawa Y., Asakura T. Structures of Bombyx mori and Samia cynthia ricini silk fibroins studied with solid-state NMR. *Biomacromolecules* 2004;5:680–8.
37. Xiao Z.M., Lim M.K., Liew K.M. *J Mater Process Tech* 1995;48:437-43.
38. Marissen R. Craze growth mechanics. *Polymer* 2000;41:1119–29.
39. Gearing B.P., Anand L. On modeling the deformation and fracture response of glassy polymers due to shear-yielding and crazing. *Int J Solids Struct* 2004;41:3125–50.
40. Giordano J.B. Treatment corona on surfaces textiles - State University of Campinas -School of Chemical Engineering – Doctoral thesis, 2007.
41. Bergamasco D.A. Characterisation of physical proerties of silk fabric after the degumming treatment and corona treatment. State University of Campinas - School of Chemical Engineering Masters dissertation, 2015.
42. Padamwar M.N., Pawar A.P., Daithankar A.V., Mahadik K.R. Silk sericin as a moisturizer: an in vivo study. *Journal of Cosmetic Dermatology*, v. 4, p. 250 - 257, 2005.
43. Sellin N., Campos J.S.C., Kleinke M.U. AFM surface characterization of PP treated by corona. *Acta Microscopica*, p. 327-328, 2001.
44. Chan C.M. *Polymer Surface Modification and Characterization*. Munich: Hanser/Gardner Publications Inc. 1994. 285 p.
45. Datta A., Ghosh A.K., Kundu S.C. Purification and characterization of fibroin from the tropical saturniid silkworm, *Antheraea myllita*. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 2001, 31:1013-1018.
46. Lazaris A., Arcidiacono S., Huang Y., Zhou J.F., Duguay F., Chretien N., Welsh E.A., Soares J.W., Karatzas C.N. Spider silk fiber spun from soluble recombinant silk produced in mammalian cells. *Science* 295, 2002:472-476.
47. Sezutsu H., Yukuhiro K. Dynamic rearrangement within the *Antheraea pernyi* silk fibroin gene is associated with four types of repetitive units. *J. Mol. Evol.* 51, 2000:329-338.
48. Tanaka K., Mizuno S. Homologues of fibroin L-chain and P25 of *Bombyx mori* are present in *Dendrolimus spectabilis* and *Papilio xuthus* but not detectable in *Antheraea yamamai*. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 31,2001:665-677.
49. Zhou C.Z., Confalonieri F., Medina N., Zivanovic Y., Esnault C., Yang T., Jacquet M., Janin J., Duguet M., Perasso R. Fine organization of *Bombyx mori* fibroin heavy chain gene. *Nucleic Acid Res.* 28,2000: 2413-2419.
50. Яминова З.А. Использование шелковых отходов для шлихтования и получения комбинированной пряжи. Дисс.канд.техн.наук. Душанбе, 2017. 143 с.
51. Yaminova Z.A. Physical and chemical aspects of obtaining of sericin from silk waste to size cotton yarn/ *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences/ № 1–2 2015 Vienna*.
52. Sashina K.S. Preparation and properties of films of fibroin-polyvinyl alcohol blends from solutions in hexafluoroisopropanol / E.S.Sashina,

N.P.Novoselov, A.V.Vnuchkin, A.Yu.Golubikhin //II Russ. J. Appl. Chem. 2007. V.80. №3. -P. 466-471.

53. Энциклопедический словарь Ф.А. Брокгауза и И.А. Ефрона. -С.-Пб. Брокгауз-Ефрон. Издательство: Семеновская Типолитография. Год издания: 1890-1907. Рубрика: Химия.

54. Перепелкин К.Е. Физико-химические особенности формирования природных фиброиновых нитей. возможности применения принципов биомиметики в перспективных технологиях получения химических волокон / К.Е.Перепелкин// Изв. Вузов Химия и химическая технология 2007 том 50 вып. 11. С 3-13.

55. Hendaw Y.T. Stifling Cocoons Silkworms Using Butane Gas Mechanical Dryer. J.Soil Sci. and Agric. Eng., Mansoura Univ., Vol. 8(4):149 - 156, 2017

56. Narasaiah P.V. Sericulture in India. Ashish Publishing House. 8/81. Punjabi Bagh, New Delhi, 1992.

57. S.E.S. Guide to Sericultural Technology in the Tropics. Sericultural Experiment Station. Role Development Administration, Republic of Korea. 1992. Pp. 294-305.

58. Wu P., Da-Chuang C., Zou-Pu C., Ping-Zhang L., He T. Silkworm rearing Publisher, FAO Agric Services. No. (73/2) Rome. 1992. Pp. 69-70.

59. Nguku E.K., Raina S.K., Mburugu K.G., Mugenda O.M. Evaluation of Different Cocoon Stifling Methods on Raw Silk Quality. Published in the African Journal of Applied Human Sciences. Vol.1, Number 1. 2009. pp 4-8.

60. Yong-woo L. Silk reeling and testing manual. Publishers, FAO Agric Services. No. (136) Rome. 1999. Pp. 5-35.

61. Morohoshi S. Development physiology of silkworms. Sciences Publishers, Inc. Enfield (NH), USA, 2001.

62. Zhang J., Du S., Kafi A., Fox B., Li J.L., Liu X.Y., Rajkhowaa R., Wang X.G. Surface energy of silk fibroin and mechanical properties of silk cocoon composites. 2015. RSC Adv., 5, 1640–1647.

63. Awad A.S. Development of artificial portable fruits dryer Ph.D. Thesis, Agri. Eng., Dept., Fac. Of agri. Mansoura Univ., Egypt, 2005.

64. AOAC. Official Methods of Analysis, 16th Ed Aassociation of Official Analytical Chemists. Washington. 1996.

65. Mahadevappa D., Halliyal V.G., Shankar D.G., Bhandiwad R. Mulberry silk reeling technology. Oxford & IBH Publishing, New Delhi, 2000.

66. Aruga H. Principles of sericulture. Oxford and IBH publishing Co. Pvt. Ltd, 66 Janpath New Delhi, India; 1994. p. 376.

67. Yaldiz O., Ertekin C., Uzun H.B. Mathematical modelling of thin layer solar drying of sultana grapes. Energy, 26, 2001. 457-465.

68. Усенко В.А. Использование волокнистых отходов натурального шелка в шерстопрядении. / В.А.Усенко, М.Х.Ходжаев, А.З.Абдуллаев. // Обзор информ.УзНИИТИ. Ташкент, 1990. -36 с.

69. Мухаммедов, М.М. Важный резерв повышения эффективности производства натурального шелка. // Бюл. науч-техн.инф. «Шёлк».–2000. –№ 6, –С.15-17.
70. Рубинов Э.Б. Заготовка и первичная обработка шелковичных коконов: учебник. / Э.Б.Рубинов, С.А.Тумаян. –М.:Сельхозгиз. 1959. -240 с.
71. Алимова Х.А. Безотходная технология производства переработки натурального шелка: монография.– Ташкент: Фан. –1994. – 310 с.
72. Салимджанов С. Совершенствование технологии повышения продуктивности тутового шелкопряда и переработка коконов в условиях Северного Таджикистана. Дисс. канд. сельс.хоз. наук. Душанбе, 2011. 139 с.
73. Копылов И.М. Новое в технологии замаривания и сушки коконов (Сообщение 1) / Копылов И.М., Осипова Л.С., Ниязалиев М. и др. // Шелк.-1985-№5.-С. 22-23.
74. Икрклыгин А.Т. Морка коконов бромистым метилом / Икрклыгин А.Т., Пивоваров П.Т., ///Шелк.-1972.-№1.с.16.
75. Рубинов Э.Б. Справочник по шелкосырью и кокономотанию. М.: Легпромиздат, -1986. -С.312.
76. Бурлаков В.С. Повышение эффективности шелководства на базе новых технологий с использованием разработанных технических средств. Дисс.докт.сельх.наук. Белгород, 2005. -275 с.
77. Shekor P., Hardingham M. Sericulture and Silk Production //Intermediate technology Publications, London. -1995. -55 pp.
78. Diseases of the Silkworm. Made France Silk Scarves: The Role of Louis Pasteur. [http://members aol com diseases. Html](http://members.aol.com/diseases.html) -2004. –С.1-2.
79. Komatsu K. Introduction to Silk (Japanese), Science House, Tokyo. -2004. -270 pp.
80. China firstto draft map of silkworm genome. <http://english.eastdav.cjv/epublish>. 2004. -P.1.
81. Мухамеджанов Р.И. Новая техника для шелководства // Шелк. -1977.- №1.-С.9-11.
82. Мирзаходжаев А., Арипов С. Аппарат для мойки и центрифугирования грены // Шелк. - 1978. - № 3. -С.13.
83. Мирзаходжаев А., Навошин Ю.С., Арипов С.А. Устройство для сушки грены шелкопряда. А. с. № 1158133 // Б.И. - 1985. - № 20.
84. Мирзаходжаев А., Арипов С. Камерный агрегат для замаривания коконов // Шелк. - 1987. - № 4. - С. 14.
85. Колынько СИ., Жерницын Ю.Л. и др. Способ первичной обработки коконов. А.с. 3 1703722 // Б.И. -1992. -№1. -С.124.
86. Аюпов Л.Ф., Исмагуллаев П.Р., Нигматходжаев С.С. Устройство для сортировки коконов. А.с. № 1824127 // Б.И. -1993. -№24.
87. Алиев Э.М., Захидов Б.А., Актон Л.Ф. и др. Устройство для замора куколок тутового шелкопряда. А.с. № 1814512 // Б.И. -1993. -№17.
88. Хаймов Б.Я. и др. Результаты производственных испытаний коконосушилки Электроника ТШК-50. Журнал «Шелк» №3. 1983 г.

89. Юлдашев Ш. и др. Устройство для замаривания коконов и сушки фруктов солнечными лучами. Вестник ТашГАУ. Т.2002. №4.

90. Мирзаходжаев А. и др. Камерный агрегат для замаривания коконов. Ж. «Шелк» 1982. -С.5.

91. Постановленные коконосушилки фирмы «Ямато» Проспект. Гундзе Сангио, ИНК Япония.

92. Авазов К.Р. Исследование усовершенствованной технологии первичной обработки коконов тутового шелкопряда. // Технология текстильной промышленности. - Иваново, 2017. №5(371). С.80-83.

93. Авазов К.Р. Усовершенствование морки куколки коконов тутового шелкопряда. Дисс.канд.техн.наук. –Ташкент, 2011. ТИТЛП.

94. Авазов К.Р. Расчет температурного режима оболочки шелковичных коконов при их терморadiационной сушке //Гелиотехника. - 2009, №2.

95. Алимова Х.А., Авазов К.Р., Гуламов А.Э., Азаматов У.Н., Бастамкулова Х.Д. Устройство морки куколки живых коконов тутового шелкопряда. - № FAP 20150008.

96. Алимова Х.А., Авазов К.Р., Гуламов А. Э., Юсупходжаева Г.А., Рахимбердиев М.Р. Способ морки и сушки куколки живых коконов тутового шелкопряда. - № IAP 20150054.

97. Gulamov A.E., Avazov K.R., Abdullaev B. New way of extermination and drying of cocoons in a field of over high frequency (SHF) // International Workshop on Revival and Promotion of Sericultural Industries and Small Enterprise Development in the (BACSA) black, Caspian Seas and Central Asia: -Tashkent, Uzbekistan, 2005. -pp. 517-519.

98. Авазов К.Р. Коэффициент теплопередачи между сушильным агентом и поверхностью куколки при конвективной сушке шелковичных коконов // Ж. Проблемы текстиля. –Ташкент, 2009. -№2. -С. 65-68.

99. Авазов К.Р., Қодиров Ш.А. Такомиллаштирилган СК-150К агрегатда ишлов берилган пиллаларнинг технологик кўрсаткичларини тадқиқ этиш //Ж. Тўқимачилик муаммолари. –Тошкент, 2009. -№3. -Б. 53-56.

100. Абдуллаев Б., Корабельников А.В., Гуламов А.Э. Способ замаривания коконов в поле сверхвысокой частоты // Проблемы текстиля. - Ташкент. -2005. -№4. С.38-41.

101. Авазов К.Р., Қодиров Ш.А., Гуламов А.Э. Батуров У.А. Инфрақизил нур таъсирида пилла ғумбагини жонсизлантириш ва қуритишнинг тадқиқи // Композицион материаллар. -Ташкент. -2008. -№4. -Б. 22-25.

102. Гуламов А.Э., Юсупходжаева Г.А., Авазов К.Р. Пилла ғумбагини жонсизлантиришнинг самарали йўллари излаш // Тўқимачилик муаммолари. -Тошкент. -2012. -№2. -Б. 29-31.

103. Мардонов Б.М., Авазов К.Р., Гуламов А.Э. Тирик пилла ғумбагини жонсизлантириш жараёнларининг назарий асослари // Тўқимачилик муаммолари. Тошкент. -2013. -№1. -Б. 70-74.

104. Авазов К.Р., Қодиров Ш.А., Алимова Х.А., Гуламов А.Э. Способ замаривания и сушки коконов тутового шелкопряда. Патент UZ №IAP 04918.

105. Гуламов А.Э. Совершенствование технологии размотки новых местных гибридов коконов и получение шелка-сырца высокого качества. Автореферат докторский диссертации. Ташкент, 2016. 72 с.
106. Искандаров З.С., Норкулова К.Т., Эргашев Б.А., Болтаев Б.С., Жумаев Б.М., Саидходжаева Н.С., Абдиева Г.М. Устройство для морки и сушки коконов тутового шелкопряда. Патент на полезной модель FAP 01255. Официальный бюллетень №11, 2017 г. С.54-55.
107. Арипов С.З., Джаббаров Х.Х., Мирзаходжаев Б.А., Авазов К.Р. Устройство для замаривания и сушки коконов. Заявка на изобретения IAP 2016 0241 от 21.06.2016 г. Официальный бюллетень №12. Ташкент, 2016. С.7.
108. Майер В.В., Вараксин Е.И. Звук и ультразвук в учебных исследованиях. 2-е изд. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. – 336 с.
109. Жизнь животных. Т.7. / Под ред. В. Е. Соколова. - М.: Просвещение, 1989. - С. 349-393.
110. Гипотеза о причинах различия высокочастотных границ звуковосприятия человека и животных // Наука и жизнь – 2000, - С. 124-125.
111. Хмелов В.Н., Сливин А.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Шалунов А.В. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203 с.
112. Радж Балдаев Применения ультразвука. –М.: Издательство Техносфера, Паланичами, 2006. – 576 с.
113. Шутилов В.А. Основы физики ультразвука. –Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1980. –280 с.
114. Розенберг Л.Д. Источники мощного ультразвука. –М.: Наука, 1969. – 380 с.
115. Новицкий Б.Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии). – М.: Химия, 1983. –192 с.
116. Хмелев В.Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности. –Барнаул: АлтГТУ, 2007. –416 с.
117. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. –9-е изд. –М.: Химия, 1973. –750 с.
118. Агранат Б.А. Основы физики и техники ультразвука. –М.: Высшая школа, 1987. –352 с.
119. Теумин И.И. Ультразвуковые колебательные системы. –М.: Машгиз, 1959. –331 с.
120. Жуков С.Н. Пьезоэлектрическая керамика: принципы и применение. –Минск: ООО «ФУАинформ», 2003. –112 с.
121. Кикучи Е. Ультразвуковые преобразователи. -М.:Мир,1972. -424 с.
122. Ультразвуковое оборудование [Электронный ресурс]. – ПКФ ООО «Сапфир». – Режим доступа: <http://www.sapphire.ru/>.

123. Active ULTRASONICS [Электронный ресурс]. – Innovative & Unique Ul-trasonic Solutions. – Режим доступа: <http://activeultrasonics.com/>.

124. Khmelev V.N. System of Phase-Locked-Loop Frequency Control of Ultra-sonic Generators // Siberian Russian Student Work-shops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2001: Workshop Pro-ceedings / NSTU. – Novosibirsk, 2001. – P. 56–57.

125. Хмелев В.Н. Способ повышения качества работы систем ФАПЧ элек-тронных ультразвуковых технологических аппаратов. // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях: межвузовский сборник. – Бийск, 2002. – С. 178–184.

126. Хмелев В.Н. Управление работой электронного генератора при ультра-звуковом воздействии на кавитирующие технологические среды. // Известия Тульского государственного университета. Серия «Технологическая системотехника». – 2004. – Вып. 2. – С. 32–40.

127. Khmelev V.N. Adaptive Phase Lock System of Ultrasonic Electronic Generators // International Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2006: Workshop Proceedings / NSTU. – Novosibirsk, 2006. -P. 229-231.

128. Хмелев В.Н. Способ управления работой ультразвукового технологического аппарата для оптимизации ультразвукового воздействия // Известия Тульского государственного университета. Серия «Технологическая системотехника». –Тула, 2006. –Вып.6. -С.12-18.

129. Хмелев В.Н. Полуволновые пьезоэлектрические ультразвуковые колебательные системы // Электронный журнал «Техническая акустика». – 2005. –26. –12 с. Режим доступа: <http://www.ejta.org/ejta/rus/abstracts2005rus/khmelev2rus.shtml>

130. Молчанов Г.И. Ультразвук в фармации. – М.: Медицина, 1980.

131. Акопян В.Б. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами. Ультразвук в медицине, ветеринарии и экспериментальной биологии. -М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 225 с.

132. Хмелев В.Н. Ультразвуковой рабочий инструмент для пластической хирургии // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях: межвузовский сборник / под ред. Г.В. Леонова. – Бийск, 2002. – С. 203–212.

133. Хмелев В.Н. Ультразвуковая размерная обработка материалов. – Барнаул: АлтГТУ, 1999. – 123 с.

134. Хмелев В.Н. Ультразвуковое распыление жидкостей: монография. Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 250 с.

135. Хмелёв В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н. Развитие ультразвуковых технологий, разработка и исследование многофункциональных и специализированных ультразвуковых аппаратов

136. Хмелев В.Н., Попова О.В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве. - Барнаул: АлтГТУ, 1997, 160 с.

137. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты для интенсификации технологических процессов на малых производствах, в сельском и домашнем хозяйстве. Материалы 4 международной конференции “Измерение, контроль и автоматизация производственных процессов” (“ИКАПП - 97”). - Барнаул: АлтГТУ им. И.И.Ползунова, Т. 2, 1997, С.142-144.

138. Хмелев В.Н. Ультразвуковые многофункциональные аппараты для интенсификации технологических процессов. Материалы научно-технической конференции “Двойные технологии в химической промышленности”. - Казань: КГТУ, 1997, С.143-145.

139. Хмелев В.Н., Шутов В.В. Перспективы совершенствования и применения технологии ультразвуковой обработки хрупких твердых материалов. Материалы 4 международной конференции “Измерение, контроль и автоматизация производственных процессов” (“ИКАПП - 97”). - Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Т. 2, 1997, С.145–147.

140. Хмелев В.Н., Шутов В.В., Пахомов А.Н. Ультразвуковые станки для выполнения отверстий в хрупких твердых материалах. Материалы международной научно-технической конференции “Резервы производства строительных материалов”. - Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, ч. 2, 1997, С.130-131.

141. Хмелев В.Н., Фирсов А.М., Чириков В.В. Интенсификация процесса алмазного сверления с помощью ультразвуковых колебаний. Материалы 4 международной конференции “Измерение, контроль и автоматизация производственных процессов” (“ИКАПП - 97”). - Барнаул: АлтГТУ им. И.И.Ползунова, Т. 2, 1997, С.139–141.

142. Хмелев В.Н., Фирсов А.М., Чириков В.В., Шутов В.В. Ультразвуковое сверление многослойных композиций из хрупких материалов, соединенных эластичным полимером. Материалы международной научно-технической конференции «Композиты - в народное хозяйство России» (“Композит-97”). - Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 1997, С.26-27.

143. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. Ультразвуковая колебательная система. Патент РФ №2131794, 1999.

144. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. Способ управления процессом ультразвуковой размерной обработки. Патент РФ №2141386, 1999.

145. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Башара В.А., Никитин А.А., Цыганок С.Н. Создание ультразвуковой установки для пропитки изделий из композиционных полимерных материалов. Сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции «Композиты – в народное хозяйство России» (Композит’99). – Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 1999, С.42-43.

146. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. Применение ультразвуковых колебаний для интенсификации технологических процессов Сборник тезисов докладов Всероссийской научно - практической конференции с международным участием «Достижения науки и техники–развитию сибирских регионов», В 3-х ч. ч.2. –Красноярск: КГТУ, 1999, С.192-193.

147. Хмелев В.Н., Беляков А.В., Бокслер А.И. Ультразвуковой запаиватель контейнеров с препаратами крови. Информационный бюллетень “Новое в трансфузиологии”. - М.: 1996 г., вып. 15, С.69-73.

148. Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н. Ультразвуковая технология очистки форсунок и клапанов автомобилей. Материалы региональной научно-практической конференции «Наука и образование: проблемы и перспективы». - Бийск: НИЦ БГПИ, 2000, С.15-16.

149. Хмелев В.Н., Гавинский Ю.В. Ультразвуковой аэрозольный аппарат. Патент РФ 2039576, 1995.

150. Хмелёв В.Н., Барсуков Р.В., Ламберова М.Э., Цыганок С.Н. Создание малогабаритного ультразвукового экстрактора и исследование методических особенностей его применения. Межвузовский сборник научных статей «Общие проблемы естественных и точных наук: региональный аспект». - Бийск: НИЦ БГПИ, 1998, С.81–86.

151. Хмелев В.Н., Сливин А.Н., Шутов В.В. Измеритель параметров ультразвуковых колебательных систем. Межвузовский сборник научных статей «Общие проблемы естественных и точных наук: региональный аспект». - Бийск: НИЦ БГПИ, 1998, С.87-91.

152. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Князев А.В. Измерительный комплекс для изучения работы ультразвуковых колебательных систем. Материалы межвузовской научно-практической конференции «Наука и образование: проблемы и перспективы». - Бийск: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 1999, С.10-12.

153. Хмелев В.Н., Кицанов А.С., Митин А.Г. Ультразвуковой широкополосный преобразователь для контроля физико-механических характеристик. Патент РФ 1128165, 1984.

154. Хмелев В.Н., Кицанов А.С., Митин А.Г., Шеркунова Л.А., Котов Б.С. Ультразвуковой преобразователь для контроля физико-механических характеристик. Патент РФ 1295333, 1987.

155. Хмелев В.Н., Башара В.А., Никитин А.А., Ярцев А.В. Ультразвуковой контроль содержания связующего в изделиях из композиционных полимерных материалов. Сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции «Композиты – в народное хозяйство России» (Композит’99). – Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 1999, С.39-41.

156. Leonov G.V., Khmelev V.N., Savin I.I., Barsukov R.V., Tsyganok S.N., Zaborovsky A.N., and Khmelev M.V. «Acoustic Drying of Garments in Drum-Type Washing Machines», International Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2005, Novosibirsk, NSTU, 2005. Abstract.

157. Khmelev V.N., Barsukov R.V., Genne D.V., Tsyganok S.N. «Adaptive System of the Electronic Generator Matching with Piezoelectric Ultrasonic Vibratory system for Various Technological Problems». International Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2008, Novosibirsk, NSYU, 2008. Abstract.

158. Khmelev V.N., Barsukov R.V., Tsyganok S.N., Steer V.N., Shalunov A.V., Adjusting and calibration electronic ultrasonic generators, Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2003, Novosibirsk, NSTU, 2003. Abstract

159. Leonov G.V., Khmelev V.N., Barsukov R.V., Tsyganok S.N., Slivin A.N., Shalunov A.V. «Advancement of Ultrasonic Technologies Efficiency, Development of Ultrasonic Devices for the Manufactures, Medical Institutions and the Agriculture Requirements». Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2004, Novosibirsk, NSTU, 2004. Abstract

160. Khmelev V.N., Shalunov A.V., Barsukov R.V., Khmelev M.V., Romashkin A.A., Galakhov A.N. «The Development of The Equipment For Ultrasonic Defoaming For Industrial Application», XIII International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2012, Novosibirsk, NSTU, 02/07/2012.

161. Khmelev V.N., Barsukov R.V., Genne D.V., Khmelev S.S., Tsyganok S.N., Khmelev M.V. «Development of ultrasonic equipment for friction reduction during the transportation of free-flowing and hard materials». Tenth international conference and seminar on micro/nanotechnologies and electron devices EDM'09, Novosibirsk, NSTU, pp. 242-245, 02/07/2009.

162. Khmelev V.N., Khmelev S.S., Barsukov R.V., Tsyganok S.N., Khmelev M.V. «The device for external ultrasonic liposuction». Tenth international conference and seminar on micro/nanotechnologies and electron devices EDM'09, Novosibirsk, NSTU, pp. 266 - 268, 02/07/2009

163. <http://insectalib.ru/books/item/f00/s00/z0000001/st019.shtml>

164. Сокол Г.И., Рыбалка Т.А. Моделирование акустических воздействий на тело вредителя растений. Акустичний симпозиум «Консонанс-2009». Киев, 2009. С.310-316.

165. Кошиць Ю. Ш. Електронна концепія боротьби з гризунами і захист об'єктів соціально-цивільної виробничої сфери при проектуванні і будівництві / Ю.Ш.Кошиць, О.Г.Лейко, О.Ф. Омельченко, Ю.О. Федоренко // Будівництво Україна.- 1999.-№1. -С.30-31.

166. Верещагин Б.В. Воздействие на этмофауну авиацимических обработок лесов Молдавии / Верещагин Б.В., Плугару С.П. // Респуб. науч.-техн. конф по охране природы, сентябрь 1972г., Кишинев:Сб. тезисов докладов. - Кишинев, Изд-во ЦК КП Молдавии, 1973. - 85с.

167. Сокол Г.И. Акустичний спосіб знищення колорадського жука і пристрій для його здійснення / Г.И.Сокол, А.В.Сокол, Т.В.Сокол // Патент на винахід №25548 А Україна, А01М 1/4,1/08. - 1998.

168. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти томах / Под ред. К.В. Фролова. - т.б. Защита от вибраций и ударов. - М.: Машиностроение, 1981. -456 с.
169. Сокол Г.И. Вибрационные технологии в определении жесткости и резонансной частоты тел насекомых / Г.И.Сокол, О.М.Дуплищева // Вібраці в техніці та технологах. - 2007. -№1 (46). -С.20-24.
170. Пашовкин Т.Н. Механические характеристики мягких биологических тканей // Методы вибрационной диагностики реологических характеристик мягких материалов и биологических тканей. - Горький: УПФ, АН РФ, 1989. - С. 105 - 115.
171. Шванвич Б.И. Курс общей энтомологии. -М.: Советская наука, 1949. - 544 с.
172. Скучик Е. Основы акустики. - М.: Мир, 1976. - Т. 1, 2. - 542 с.
173. Сапожков М. А. Электроакустика. -М.: Связь, 1978. -272 с.
174. Энциклопедический словарь: в 86 т. - Репр. воспр. изд."Энциклопедический словарь Ф. А. Брокгауза и И. А. Ефрона" - СПб.: Фирма "ПОЛРАДИС", АООТ "Иван Федоров", 1993 - 1998, том 6 - 14А (28) - 450 с. ISBN 5 - 900741 -01-Х
175. Фын Ю.С. Биомеханика. // Теоретическая и прикладная механика: Тр.XIV межд. конгресса ШТАМ - М.: Мир, 1979. - С. 100 - 133.
176. <http://vibrocenter.ru/vibroacc.htm>
177. Сокол Г.И. Особенности акустических процессов в инфразвуковом диапазоне частот. Монография. Днепропетровск, 2000. 139 с.
178. Ультразвук. Малая энциклопедия. - М.: Наука, 1983. - с. 400.
179. Андреева - Галанина Е.Ц., Карпова Н.И., Кадыскин А.В., Суворов Т.А., Пронин А.П., Артюшкин С.Д. Экспериментальный комплекс для изучения влияния низкочастотных колебаний на человека. / В кн.: Респ. научно - практическая конференция по вопросам профилактики вибрационной болезни. ЛСТМИ, 1970, с.43 - 46.
180. Новогрудский Е.Е., Шульгин А.И., Валиулин А.А. Инфразвук: враг или друг?. - М.: Машиностроение, 1989. - 64 с.
181. Вартанян И.А. Звук - слух - мозг. - Л.: Наука, 1981. - 176 с..
182. Nixon Charles W. Human and history response to intense infrasound. - Colloq. int. CNRS, 1974, N 232, p. 315 - 335.
183. Tempest W. Infrasound and low frequency vibration. - London: Acad. Press. 1977. - 364 p. (Rez. Rood G. J. Sound and Vibr.), 1977, v. 63, N4, p. 605 - 606.
184. Mohr G., Cole J.N., Guild E., Gierke H.E. Effects of low Frequency and Infra sonis Noise on Man. - Aerospace Medicine, 1965, v. 36, N 9, p.817 - 824.
185. Ляхов Г.А., Суязов Н.В. Электромагнитное возбуждение инфразвука в проводящей среде. - ЖТФ, т. 68, вып. 1, 1998, с 80.

186. Микулинский А.М., Шейман Л.С. Воздействие локальной вибрации и вопросы виброзащиты. - Горький: 1983. - 176 с.
187. Eijkman E., Vendrik A.J. Dynamics of the vibration sense at low frequency.-JASA, 1960, v. 32, p. 1134 - 1139.
188. Крылов Ю.В. О влиянии шума высокой интенсивности на пороги вибрационной чувствительности.- Физиология человека., 1983, т. 9, N 2, с. 232 - 236.
189. Lewis C.H., Griffin M.I. Predicting the effect of vertical vibration frequency, combinations of frequencies and viewing distance on the reading numeric displays.- J. Sound and Vibr., 1980, v. 70, N 3, p. 355 - 377.
190. Андреева - Галанина Е.Ц. и др. Влияние инфразвука на человеческий организм. - Гигиена и санитария, № 11, 1970, с. 24 - 25.
191. Плаксин Ю.М., Филатов В.В., Доронин А.Ф., Гончаров М.В., Куликова М.Г. Основы теории инфракрасного нагрева: Монография. – М.: МГУПП, 2007. – 168 с.
192. Левитин И.Б. Применение инфракрасной техники в народном хозяйстве. –Л.: Энергоиздат, 1981. – 264 с.
193. Норкулова К.Т., Фахрутдинов Р.Р., Сафаров Ж.Э., Маматкулов М.М. Обеспечение равномерного инфракрасного облучения при сушке плоского слоя материала. // Химическая технология. Контроль и управление. -Ташкент, 2012. №1. С.16-19.
194. Рахимов Р.Х. Синтез функциональной керамики на большой солнечной печи и разработка оборудования с инфракрасными излучателями на ее основе. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. –Ташкент.
195. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э., Маматкулов М.М., Фахрутдинов Р.Р. Установка для сушки инфракрасным излучением. Полезная модель FAP 00655 от 15.09.2011.
196. Сафаров Ж.Э. Экспериментальные лабораторные исследования процесса вакуумной сушки с инфракрасным излучением // Международная научно-практическая конференция «Проблемы формирования и внедрения инновационных технологий в условиях глобализации». -Ташкент, 2010. -Ч-2. – С.171-173.
197. Норкулова К.Т., Умаров В.Ф., Сафаров Ж.Э. Вакуумная сушка с инфракрасным нагревом – безотходная технология: Сборник научных статей «Инновация–2009». –Ташкент, 2009. –С.125–126.
198. Сафаров Ж.Э. Оптимизация инфракрасного нагрева в сушильных устройствах. //Материалы Международной научно-технической конференции «Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития». -Навои, 2010. -С.252-253.
199. Рахимов Р.Х. Керамические нагреватели и их применение (Часть 3)- Фергана: Издат “Фаргона”, 2005. -316 с.

200. Staack N., Ahrne L., Borch E., Knor D. Effect of infrared heating on quality and microbial decontamination in paprika powder // J.Food Eng., 2008. - Vol.86, №1. -pp.17-24.
201. Natalia A., Quintero Ruiz, Silvana M. Demarchi, Sergio A. Giner. Effect of hot air, vacuum and infrared drying methods on quality of rose hip (*Rosa rubiginosa*) leathers. International Journal of Food Science & Technology. 2014, Volume 49, Issue 8, pages 1799–1804.
202. Борхерт Р., Юбиц В. Техника инфракрасного нагрева. –М. –Л.: Госэнергоиздат, 1963. –278 с.
203. Норкулова К.Т., Фахрутдинов Р.Р., Маматкулов М.М., Сафаров Ж.Э. Патент на изобретение: Сушильная установка. IAP 04822 от 12.12.2013.
204. Погорелов М.С. Оптимизация режимов инфракрасной сушки плодов и ягод и её оборудование // Дисс. канд. с-х.наук. –М., 2007. -121 с.
205. Лыков А.В. Теория сушки.–М.: Энергия, 1968. -471 с.
206. Лебедев П.Д. Расчет и проектирование сушильных установок. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1963. –320 с.
207. Ильясов С.Г. Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов // – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 359 с.
208. Пенкин А.А. Разработка устройства инфракрасного излучения для термической обработки зерна и локального обогрева. Дис. канд. техн. наук. – М., 2005. – 258 с.
209. Карпов В.Н. Энергосбережение в оптических электротехнологиях АПК. Прикладная теория и частные методики: Монография / В.Н. Карпов, С.А. Ракутько. – СПб.: СПбГАУ, 2009. – 100 с.
210. Клямкин Н.К. ИК-сушка – перспектива развития сушильной отрасли // Техника и оборудование для села. – 1999. –№5 (23). – С. 20-21.
211. Пузырев В.А. Управление технологическими процессами производства микроэлектронных приборов. –М.: Радио и связь, 1984. –160 с.
212. Зворыкин Д.Б., Прохоров Ю.И. Применение лучистого инфракрасного нагрева в электронной промышленности. –М.: Энергия, 1980. - 370 с.
213. Афонькина В.А. Инфракрасная сушка термолабильного сырья на примере зеленных культур. Дисс.канд. техн. наук. Челябинск, 2014. - 158 с.
214. Касаткин В.В., Шумилова И.Ш. Сушка термолабильных материалов на установках непрерывного действия. Пищевая промышленность, 10, 2006, с.12-13.
215. Мелякова О.А. Энергоэкономичные режимы сушки овощей в конвективно-радиационной сушилке: Диссертация. Тюмень, 2001.
216. Лупу О. Ф. Теоретическое и экспериментальное исследование процесса сушки абрикос с применением токов высокой частоты. Дисс. ... доктора техн. наук. –Кишинев, 2005. –168 с.
217. Чернышев С. Разработка и научное обоснование технологии сушеных томатов. Дис. доктора техн. наук: 05.18.01. -Кишинев, 2011 –126 с.

218. Проничев С.А. Импульсная инфракрасная сушка семенного зерна: Диссертация. Москва, 2007.

219. Попова С.Б. Совершенствование процесса сушки тыквы в технологии плодоовощных концентратов. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Москва, 2004. 25 с.

220. Лебедев П.Д. Сушка инфракрасными лучами. -М. Л.: Госэнергоиздат, 1955. - 232 с.

221. Лебедев П.Д. Теплофизические исследования процессов сушки инфракрасными лучами. Автореф. дисс. доктора техн.наук. - М., 1953.- 16 с.

222. Сайт: <http://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnostiprotsessa-konvektivno-luchevoi-sushki-ovoshchei-v-pole-koronogo-ra>.

223. Попов В.М., Афонькина В.А. Инфракрасная сушка зеленных культур. // Межвузовский научный сборник «Энергообеспечение и энергосбережение на предприятиях АПК». - Уфа. - 2011. - №6. – С. 72-74.

224. Шелк – Википедия Мирное производство и потребление текстильного сырья // Ж. Композиционные материалы. -2013. -№4. -С. 71-74, [https://ru.wikjpedia,\(wiki\)](https://ru.wikjpedia,(wiki)).

225. Fujia Chen, David Porter, Fritz Vollrath Silkworm cocoon, a biological composite system. Terms and Conditions of Use for Oxford University Research Archive, 2012 <https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:04ab3915-6362-4607-9f10-838ce960400f>.

226. Jiang P., Liu H., Wang C., Wu L., Huang J., Guo C., Tensile behavior and morphology of differently degummed silkworm (*Bombyx mori*) cocoon silk fibres, *Materials Letters*, 2006; 60: 919-925

227. Zhao H.P., Feng X.Q., Cui W.Z., Zou F.Z., Mechanical properties of silkworm cocoon pelades, *Engineering Fracture Mechanics*, 2007; 74: 1953-1962.

228. Page D.H. A theory for the tensile strength of paper, *Tappi Journal*, 1969; 52(4): 674–81.

229. Kallmes O., Bernier G., Perez M. A mechanistic theory for the load elongation properties of paper, *Pap Tech Ind* 1977; 18(7):222–8, 18(8):243–225, 18(9):283–225, 18(10):328– 331.

230. Kallmes O., Bernier G. The structure of paper, III. The absolute, relative and maximum bonded areas of random fiber networks, *Tappi J* 1962; 45(11):867–72.

231. Dodson C.T.J. The nature of bonds in paper and the behaviour of paper under mechanical strain, *Rep Prog Phys* 1970;33(1):1–43.

232. Cox H.L. The elasticity and strength of paper and other fibrous materials, *Brit J Appl Phys* 1952; 3: 72–9.

233. Page D.H., Seth R.S., De Grace J.H. The elastic modulus of paper, I. The controlling mechanisms, *Tappi J* 1979; 62(9):99–102.

234. Page D.H., Seth R.S. The elastic modulus of paper, II. The importance of fiber modulus, bonding and fiber length, *Tappi J* 1980; 63(6):113–6.

235. Seth R.S., Page D.H. The stress strain curve of paper. In: Brander J, editor. The role of fundamental research in paper making, *Trans. VIIth Fund. Res. Symp.*, Cambridge, September 1981. FRC, Manchester, 2003; 421–52.

236. Astrom J., Saarinen S., Niskanen K., Kurkijarvi J. Microscopic mechanics of fiber networks, *J Appl Phys* 1994; 75(5):2383–92.
237. Astrom J.A., Makinen J.P., Alava M.J., Timonen J. Elasticity of Poissonian fiber networks, *Phys Rev E* 2000; 61(5):5550–6.
238. Carlsson L.A., Lindström T. A shear-lag approach to the tensile strength of paper, *Comp Sci Technol* 2005;65(2):183–9;
239. Carlsson L.A., Lindström T. A shear-lag approach to the tensile strength of paper, *Erratum* 2005;65(7–8):1321. 61
240. Anson S.J.I', Sampson W.W. "Competing Weibull and stress-transfer influences on the specific tensile strength of a bonded fibrous network", *Composites Science and Technology*, 67 (7,8) p1650–1658 (2007)
241. Raisanen V.I., Alava M.J., Niskanen K.J., Nieminen R.M. Does the shear-lag model apply to random fiber networks? *J Mater Res* 1997; 12(10):2725–32.
242. Raisanen V.I., Hermann H.J. Effect of texture on fracture of fibrous materials, *Comput Meth Appl Mech Eng* 1998; 161(1–2):103–12.
243. Eichhorn S.J., Young R.J. Deformation micromechanics of natural cellulose networks and composites, *Comp Sci Technol* 2003; 63(9):1225–30.
244. Gregersen, Hansen A, Helle T. Evaluation of newsprint strength and runnability by using Weibull statistics, In: *Progress in Paper Physics Seminar*, Vancouver, Canada, 1998. Paper D1.
245. Uesaka T., Ferahi M., Hristopulos D., Deng N., Moss C. Factors controlling pressroom runnability of paper, In: Baker CF, editor. *The Science of Papermaking*, Trans. XIIth Fund. Res. Symp., Oxford, September 2001. FRC, Manchester; 1423–40.
246. Wathen R., Niskanen K. Paper web strength distributions and formation, In: *Progress in Paper Physics Seminar*, Syracuse, USA, 2002. 55.
247. Weibull W. A statistical theory of the strength of materials, *Ingeniorsvetenskapsakademiens Handlingar* 1939; *Generalstabens Litografiska Anstalts Forlag*, Stockholm, 151.
248. Porter D., Gould P.J. *International Journal of Solids and Structures*, 46 (2009) 1981-1993.
249. Seitz J.T. *J. Appl. Polymer Sci*, 49 (1993), 1331.
250. Ko. W.L. Deformations of foamed elastomers, *J. Cell. Plast.*1965:45-50
251. Christensen. R.M., *Mechanics of low density materials*, *J. Mech. Phys. Solids* 1986, 34(6): 563-578.
252. Gibson. L.J., Ashby. M.F, *The mechanics of three-dimensional cellular materials*, *Proc. R. Soc. Lond*, 1982.
253. Warren. W.E., Kraynik. A.M., *Linear elastic behavior of a low density Kelvin foam with open cells*, *J. Appl. Mech.*, 1997(64): 737-704,
254. Zhu. H.X., Knott. J.F., Mills. N.J., *Analysis of the elastic properties of open-cell foams with tetrakaidecahedral cells*, *J. Mech. Phys. Solids*, 1997(45): 319-343.
255. Zallen R., *The Physics of Amorphous Solids*, John Wiley & Sons, New York (1983).

256. Altman G.H. et al. Silk-based biomaterials. *Biomaterials* 24, 2003. P.401-416.
257. Omenetto F.G., Kaplan D.L. New opportunities for an ancient material. *Science* 329, 2010. P.528-531.
258. Porter D., Vollrath F. Silk as a biomimetic ideal for structural polymers. *Adv Mater* 21, 2009. P.487-492.
259. He Y.X. et al. N-terminal domain of *Bombyx mori* fibroin mediates the assembly of silk in response to pH decrease. *J Mol Biol* 418, 2012. P.197-207.
260. Chae S.K., Kang E., Khademhosseini A., Lee S.H. Micro/nanometer-scale fiber with highly ordered structures by mimicking the spinning process of silkworm. *Adv Mater* 25, 2013. P.3071-3078.
261. Rajkhowa R., Gupta V.B., Kothari V.K. Tensile stress–strain and recovery behavior of Indian silk fibers and their structural dependence. *J Appl Polym Sci* 77, 2000. P.2418-2429.
262. Keten S., Xu Z., Ihle B., Buehler M.J. Nanoconfinement controls stiffness, strength and mechanical toughness of [beta]-sheet crystals in silk. *Nat Mater* 9, 2010. P.359-367.
263. Huang X. Zhang W. Research of structure and properties of puffed Tussah silk. *Adv Mater Res* 332, 2011. P.156-159.
264. McNaught A.D., Wilkinson A. *Compendium of chemical terminology*. Vol. 1669 (Blackwell Science Oxford, 1997).
265. Vepari C., Kaplan D.L. Silk as a biomaterial. *Prog Polym Sci* 32, 2007. P.991-1007.
266. Yao M., Shi M.W., Yan Z., Gao F. Thermal conductivity and its directional difference of protein fiber. *Journal of northwest institute of textile science and technology* 15, 2001. P.42-46.
267. Pérez-Rigueiro J., Elices M., Llorca J., Viney C. Effect of degumming on the tensile properties of silkworm (*Bombyx mori*) silk fiber. *J Appl Polym Sci* 84, 2002. P.1431-1437.
268. Kundu S.C., Dash B.C., Dash R., Kaplan D.L. Natural protective glue protein, sericin bioengineered by silkworms: Potential for biomedical and biotechnological applications. *Prog Polym Sci* 33, 2008. P.998-1012.
269. Lima A.G.B., Farias Neto, S.R. & Silva, W. P. in *Heat and Mass Transfer in Porous Media Vol. 13 Advanced Structured Materials* (ed J. M. P. Q. Delgado) Ch. 7, 2012. P.161-185 (Springer Berlin Heidelberg).
270. Craig C.L. Evolution of arthropod silks. *Annu Rev Entomol* 42, 1997. P.231-267.
271. Lounibos L.P. The cocoon spinning behaviour of the chinese oak silkworm, *Antheraea pernyi*. *Anim Behav* 23, Part 4, 1975. P.843-853.
272. Kaur J. et al. Photoprotection by silk cocoons. *Biomacromolecules* 14, 2013. P.3660-3667.
273. Rajkhowa R. Structure property correlation of non-mulberry and mulberry silk fibres. *Int J Wild Silkmoths Silk* 5, 2000. P.287-298.

274. Zhang J., Rajkhowa R., Li J.L., Liu X.Y., Wang X.G. Silkworm cocoon as natural material and structure for thermal insulation. *Mater Des* 49, 2013. P.842-849.
275. Chen F., Porter D., Vollrath F. Structure and physical properties of silkworm cocoons. *J R Soc Interface* 9, 2012. P.2299-2308.
276. Chen F., Porter D., Vollrath F. Morphology and structure of silkworm cocoons. *Mat Sci Eng C* 32, 2012. P.772-778.
277. Roy M. et al. Carbondioxide gating in silk cocoon. *Biointerphases* 7, 2012. P.45.
278. Danks H.V. The roles of insect cocoons in cold conditions. *Eur J Entomol* 101, 2004. P.433-437.
279. Du S., Li J.L., Zhang J., Wang, X.G. Microstructure and mechanical properties of silk from different components of the *Antheraea pernyi* cocoon. *Mater Des* 65, 2015. P.766-771.
280. Tsai L., Prakash V. Structure of weak shock waves in 2-D layered material systems. *Int J Solids Struct* 42, 2005. P.727-750.
281. Horrocks N.P.C., Vollrath F., Dicko C. The silkworm cocoon as humidity trap and waterproof barrier. *Comp Biochem Phys A* 164, 2013. P.645-652.
282. Blossman-Myer B., Burggren W.W. The silk cocoon of the silkworm, *Bombyx mori*: Macro structure and its influence on transmural diffusion of oxygen and water vapor. *Comp Biochem Phys A* 155, 2010. P.259-263.
283. Avazov K.R. Calculation of thermal mode of shell of silk cocoons treated by thermal radiation drying. *Appl Sol Energ* 45, 2009. P.133-134.
284. Kaur J., Rajkhowa R., Afrin T., Tsuzuki T., Wang X.G. Facts and myths of antibacterial properties of silk. *Biopolymers* 101, 2014. P.237-245.
285. Fedic R., Zurovec M., Sehnal F. The Silk of Lepidoptera. *J Insect Biotechnol Sericol* 71, 2002. P.1-15.
286. ANSI/ASHRAE. (American Society of Heating, Refrigerating and AirConditioning Engineers, Atlanta, USA, 2013.
287. Jokl M.V. The effect of the environment of human performance. *Appl Ergon* 13, 1982. P.269-280.
288. Fang L., Wyon D.P., Clausen G., Fanger P.O. Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. *Indoor Air* 14, 2004. P.74-81.
289. Huizenga C., Abbaszadeh S., Zagreus L., Arens E.A. in *Healthy Buildings*. 2006. P.393-397.
290. Pohl J. in *Building Science*, 2011. P.20-32 (Blackwell Publishing Ltd).
291. Mackowiak P.A., Wasserman S.S., Levine M.M. A critical appraisal of 98.6 F, the upper limit of the normal body temperature, and other legacies of Carl Reinhold August Wunderlich. *Jama* 268, 1992. P.1578-1580.
292. Butera F.M. Chapter 3—Principles of thermal comfort. *Renew Sust Energ Rev* 2, 1998. P.39-66.
293. Fanger P.O. *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*, 1972 (New York, McGraw-Hill).

294. Mosteller R. Simplified calculation of body-surface area. *New Engl J Med* 317, 1987. P.1098
295. Haycock G.B., Schwartz G.J., Wisotsky D.H. Geometric method for measuring body surface area: A height-weight formula validated in infants, children, and adults. *J Pediatr* 93, 1987. P.62-66.
296. Current J.D. A linear equation for estimating the body surface area in infants and children. *Internet J Anesthesiol* 2, 1997.
297. Schlich E., Schumm M., Schlich M. 3-D-Body-Scan als anthropometrisches Verfahren zur Bestimmung der spezifischen Körperoberfläche. *Ernährungs Umschau* 57, 2010. P.178-183.
298. Sawyer M., Ratain M. Body surface area as a determinant of pharmacokinetics and drug dosing. *Invest New Drug* 19, 2001. P.171-177.
299. Kiranoudis C.T., Maroulis Z.B., Marinou-Kouris D. Heat and mass transfer model building in drying with multiresponse data. *Int J Heat Mass Tran* 38, 1995. P.463-480.
300. Liesen R.J., Pedersen C.O. Modeling the energy effects of combined heat and mass transfer in building elements: Part 1 – Theory, 1999. P.941-953.
301. Lin M.W., Berman J.B., Khoshbakht M., Feickert C.A., Abatan A.O. Modeling of moisture migration in an FRP reinforced masonry structure. *Build Environ* 41, 2006. P.646-656.
302. Zheng W., Worek W.M. Numerical simulation of combined heat and mass transfer processes in a rotary dehumidifier. *Numer Heat Tr A-Appl* 23, 1993. P.211-232.
303. Zhang L.Z., Jiang Y. Heat and mass transfer in a membrane-based energy recovery ventilator. *J Membrane Sci* 163, 1999. P.29-38.
304. Irudayaraj J., Wu Y., Ghazanfari A., Yang W. Application of simultaneous heat, mass and pressure transfer equations to timber drying. *Numer Heat Tr A-Appl* 30, 1996. P.233-247.
305. Boomsma K., Poulikakos D. On the effective thermal conductivity of a three-dimensionally structured fluid-saturated metal foam. *Int J Heat Mass Tran* 44, 2001. P.827-836.
306. Zhang L.Z. Numerical study of heat and mass transfer in an enthalpy exchanger with a hydrophobic-hydrophilic composite membrane core. *Numer Heat Tr A-Appl* 51, 2007. P.697-714.
307. Olutimayin S.O., Simonson C.J. Measuring and modeling vapor boundary layer growth during transient diffusion heat and moisture transfer in cellulose insulation. *Int J Heat Mass Tran* 48, 2005. P.3319-3330.
308. Wang J., Christakis N., Patel M.K., Cross M., Leaper M.C. A Computational Model of Coupled Heat and Moisture Transfer with Phase Change in Granular Sugar during Varying Environmental Conditions. *Numer Heat Tr A-Appl* 45, 2004. P.751-776.
309. Lewis W.K. The Rate of Drying of Solid Materials. *J Ind Eng Chem* 13, 1921. P.427-432.

310. Richards L.A. Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics* 1, 1931. P.318-333.
311. Henry P.S. H. Diffusion in Absorbing Media. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences* 171, 1939. P.215-241.
312. Henry P.S.H. The diffusion of moisture and heat through textiles. *Discuss Faraday Soc* 3, 1948. P.243-257.
313. Downes J.G., Mackay B.H. Sorption kinetics of water vapor in wool fibers. *J Polymer Sci* 28, 1958. P.45-67.
314. Nordon P., David H.G. Coupled diffusion of moisture and heat in hygroscopic textile materials. *Int J Heat Mass Tran* 10, 1967. P.853-866.
315. David H.G., Nordon P. Case Studies of Coupled Heat and Moisture Diffusion in Wool Beds. *Text Res J* 39, 1969. P.166-172.
316. Ogniewicz Y., Tien C.L. Analysis of condensation in porous insulation. *Int J Heat Mass Tran* 24, 1981. P.421-429.
317. Motakef S., El-Masri M.A. Simultaneous heat and mass transfer with phase change in a porous slab. *Int J Heat Mass Tran* 29, 1986. P.1503-1512.
318. Shapiro A.P., Motakef S. Unsteady heat and mass transfer with phase change in porous slabs: analytical solutions and experimental results. *Int J Heat Mass Tran* 33, 1990. P.163-173.
319. Farnworth B. A Numerical Model of the Combined Diffusion of Heat and Water Vapor Through Clothing. *Text Res J* 56, 1986. P.653-665.
320. Tao Y.X., Besant R.W., Rezkallah K.S. Unsteady heat and mass transfer with phase changes in an insulation slab: frosting effects. *Int J Heat Mass Tran* 34, 1991. P.1593-1603.
321. Murata K. Heat and mass transfer with condensation in a fibrous insulation slab bounded on one side by a cold surface. *Int J Heat Mass Tran* 38, 1995. P.3253-3262.
322. Li Y., Zhu Q. A Model of Coupled Liquid Moisture and Heat Transfer Porous Textiles with Consideration of Gravity. *Numer Heat Tr A-Appl* 43, 2003. P.501-523.
323. Yi Li, Zhongxuan Luo. An Improved Mathematical Simulation of the Coupled Diffusion of Moisture and Heat in Wool Fabric. *Text Res J* 69, 1999. P.760-768.
324. Li Y., Luo Z.X. Physical Mechanisms of Moisture Diffusion into Hygroscopic Fabrics during Humidity Transients. *J Text I* 91, 2000. P.302-316.
325. Rees D.A.S., Pop I. Vertical free convection in a porous medium with variable permeability effects. *Int J Heat Mass Tran* 43, 2000. P.2565-2571.
326. Fan J., Luo Z., Li Y. Heat and moisture transfer with sorption and condensation in porous clothing assemblies and numerical simulation. *Int J Heat Mass Tran* 43, 2000. P.2989-3000.
327. Cheng X., Fan J. Simulation of heat and moisture transfer with phase change and mobile condensates in fibrous insulation. *Int J Therm Sci* 43, 2004. P.665-676.

328. Li Y., Fan J. Transient analysis of heat and moisture transfer with sorption/desorption and phase change in fibrous clothing insulation. *Numer Heat Tr A-Appl* 51, 2007. P.635-655.
329. Fan J., He J. Fractal derivative model for air permeability in hierarchic porous media. *Abstr Appl Anal*, 2012. P.7.
330. Kuppusamy N.R., Ghazali N.N.N., Saidur R., Niza M.E. Optimum design of triangular shaped micro mixer in micro channel heat sink. *Int J Heat Mass Tran* 91, 2015. P.52-62.
331. Feng Y. et al. Modeling and analysis of heat and mass transfers of supercritical hydrocarbon fuel with pyrolysis in mini-channel. *Int J Heat Mass Tran* 91, 2015. P.520-531.
332. Kong F., Wang H. Heat and mass coupled transfer combined with freezing process in building materials: Modeling and experimental verification. *Energ Buildings* 43, 2011. P.2850-2859.
333. Faghri A., Zhang Y., Howell J. *Advanced Heat and Mass Transfer*. (Global Digital Press), 2010.
334. Clark J.O.E. *The essential dictionary of science*. (Barnes, Noble Books), 2004.
335. KÜNzel H.M., Kiessl K. Calculation of heat and moisture transfer in exposed building components. *Int J Heat Mass Tran* 40, 1996. P.159-167.
336. Tran Le A.D., Maalouf C., Mai T.H., Wurtz E., Collet F. Transient hygrothermal behaviour of a hemp concrete building envelope. *Energ Buildings* 42, 2010. P.1797-1806.
337. Tesoro F., Choong E., Kimbler O. Relative Permeability and the Gross Pore Structure of Wood. *Wood Fiber Sci* 6, 1974. P.226-236.
338. Bolton A.J., Petty J.A. A model describing axial flow of liquids through conifer wood. *Wood Sci Technol* 12, 1978. P.37-48.
339. Dos Santos G.H., Mendes N. Combined heat, air and moisture (ham) transfer model for porous building materials. *J Build Phys* 32, 2009. P.203-220.
340. Halliday D., Resnick R., Walker J. *Fundamentals of Physics*, 2010.
341. Mohr P.J., Taylor B.N., Newell D.B. CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 2010. *Rev Mod Phys* 84, 2012. P. 1527-1605.
342. Hosticka B., Norris P.M., Brenizer J.S., Daitch C.E. Gas flow through aerogels. *J Non-Cryst Solids* 225, 1998. P.293-297.
343. Malek K. & Coppens, M.O. Knudsen self- and Fickian diffusion in rough nanoporous media. *J Chem Phys* 119, 2003. P.2801.
344. Roy S., Raju R., Chuang H.F., Cruden B.A., Meyyappan M. Modeling gas flow through microchannels and nanopores. *J Appl Phys* 93, 2003. P.4870-4879.
345. Jennings S.G. The mean free path in air. *J Aerosol Sci* 19, 1988. P.159-166.
346. Cengel Y.A. *Heat & mass transfer: a practical approach*. (Tata McGraw-Hill Education), 2007.

347. Jain D., Tiwari G.N. Effect of greenhouse on crop drying under natural and forced convection I: Evaluation of convective mass transfer coefficient. *Energy Convers Manage* 45, 2004. P.765-783.
348. Yang S., Lewandowski Z. Measurement of local mass transfer coefficient in biofilms. *Biotechnol Bioeng* 48, 1995. P.737-744.
349. Wen D., Ding Y. Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions. *Int J Heat Mass Tran* 47, 2004. P.5181-5188.
350. Huang C.L.D. Multi-phase moisture transfer in porous media subjected to temperature gradient. *Int J Heat Mass Tran* 22, 1979. P.1295-1307.
351. Batchelor G. An introduction to fluid dynamics. Cambridge University, 1967.
352. Newton I. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (mathematical principles of natural philosophy) London (1687), 1972.
353. Narasimhan T.N., Witherspoon P.A. An integrated finite difference method for analyzing fluid flow in porous media. *Water Resour Res* 12, 1976. P.57-64.
354. Gopalakrishnan S., Ruzzene M., Hanagud S. in *Computational techniques for structural health monitoring Springer Series in Reliability Engineering Ch. 5*, 2011. P.177-217.
355. Kim J., Kim D., Choi H. An immersed-boundary finite-volume method for simulations of flow in complex geometries. *J Comput Phys* 171, 2001. P.132-150.
356. Blandford G.E., Ingraffea A.R., Liggett J.A. Two-dimensional stress intensity factor computations using the boundary element method. *Int J Numer Meth Eng* 17, 1981. P.387-404.
357. Goldberg D., Benjamin Wylie E. Characteristics Method Using Time-Line Interpolations. *J Hydraul Eng-Asce* 109, 1983. P.670-683.
358. Feit M. D., Fleck Jr J.A., Steiger A. Solution of the Schrödinger equation by a spectral method. *J Comput Phys* 47, 1982. P.412-433.
359. Chen C.J., Chen H.C. Finite analytic numerical method for unsteady two dimensional Navier-Stokes equations. *J Comput Phys* 53, 1984. P.209-226.
360. Chen S., Doolen G.D. Lattice boltzmann method for fluid flows. *Annu Rev Fluid Mech* 30, 1998. P.329-364.
361. Xing J. Heat and moisture transfer through silkworm cocoon walls. Submitted in fulfilment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. Deakin University, 2016. -223 p.
362. Аюпов Л.Ф. Вопросы разработки технических средств путем автоматизации сортировки грены с целью увеличения шелконосности / Аюпов Л.Ф., Шапамалов А.Ш., Исматуллаев П.Р. / *Шелк*. 1991. № 1. - С. 27.
363. Бадалов А., Салимджанов С., Ишматов А.Б., Оптимизации технологии, сохранения качественных показателей коконной оболочки *Вестник Таджикского Технического Университета. – Душанбе. - № 2(10).- 2010.- С.44-49.*
364. LiY.,FanJ. Transientanalysis so fheatand moisture transfer withs orption /

desorption and phase change in fibrous clothing insulation. Numer Heat Tr A-Appl 51, 2007, -P. 635-655.

365. Li Y., Zhu Q. A model of heat and moisture transfer in porous textiles with phase change materials. Text Res J 74, 2004, P. 447-457.

366. Zhu Y., Jin X., Du Z., Fan B., Fang X. Simulation of variable refrigerant flow air conditioning system in heating mode combined with outdoor air processing unit. Energ Buildings 68, Part A, 2014, P. 571-579.

367. Boomsma K., Poulikakos D. On the effective thermal conductivity of a three-dimensionally structured fluid-saturated metal foam. Int J Heat Mass Tran 44, 2001, P. 827-836.

368. Иброгимов Х.И., Исследование появления дефектных коконов // Иброгимов Х.И., Салимджанов С., Изатов М., Межд. Научно-практической конференции ТАСХН, август 2019 г.

369. Изатов М.В., Расчет эффективности применения способа централизованной выкормки гусениц младших возрастов тутового шелкопряда с применением стационарных устройств // Изатов М.В., Салимджанов С., Иброгимов Х.И., Доклады ТАСХН, №2(60), 2019. -С.40-44.

370. Исраилова С.М., Ёдгорова Х.И. Изменение качественных показателей шелка-сырца, полученного различными способами // Молодой ученый. 2017. №20. -С. 23-25.

371. Кузнецов С.Г., Патент РФ, № 2085627. Способ сушки коконов тутового шелкопряда / Кузнецов С.Г., Публикация патента: 27.07.1997.

372. Мухаммедов М.М. Проблемы рационального использования коконного сырья. - М.: Легпромиздат, 1990. -С.38-57.

373. Рубинов Э.Б., Сушка коконов, – М.: Легкая индустрия, 1966.С.215.

374. Салимджанов С. Заготовка и первичная переработка коконов / Салимджанов С, //«Камоли Хужанди». – Худжанд.- 2009. -187 с.

375. Салимджанов С. Теоретические основы, характеризующие кокон и расположение его во время сушки. /С.Салимджанов, Изатов М. // США проблемам Technology, Advanced Engineering. 2018. том 8.

376. Изатов М.В. Совершенствование технологии первичной обработки коконов с целью сохранения природных свойств шелка-сырца в условиях Таджикистана. Дисс. канд.техн.наук. Душанбе, 2019. -186 с.

377. Darcy H. Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon. Dalmont, 1856.

378. Fick A.V. On liquid diffusion. Philosophical Magazine Series 4 10,1855, P. 30-39.

379. Siau J.F. Transport process in wood. Springer-Verlag 245, 1984.

380. Kweon H., Ha H.C., Um I.C., Park Y.H. Physical properties of silk fibroin/chitosan blend films. J Appl Polym Sci 80, 2001, P. 928-934.

381. Tsukada M. Effect of the casting temperature on the structure of silk sericin. J Polym Sci Polym Lett Ed 18, 1980, P. 501-505.

382. Dean J.A., Lange N.A. Inorganic Chemistry. Lange's Handbook of Chemistry, 15th edition, Mc-Graw-Hill Inc., New York 1999.

383. Hu X., Kaplan D., Cebe P. Effect of water on the thermal properties of

silk fibroin. *Thermochim Acta* 461, 2007, P. 137-144.

384. Latimer W.M., Schutz P.W., Hicks J.F.G. The heat capacity and entropy of calcium oxalate from 19 to 300e absolute. The entropy and free energy of oxalate ion. *J Am Chem Soc* 55, 1933, P. 971-975.

385. Lee S.M. Thermal conductivity measurement of fluids using the 3 omega method. *Rev Sci Instrum* 80, 2009, -P. 024901-024907.

386. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Айт Каддоур А., Самандаров Д.И. Исследование первичной переработки коконов тутового шелкопряда. Монография. Илм-зиё-заковат: Ташкент, 2020. -192 б.

387. Самандаров Д.И., Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А. Исследование вибрационного числа на основе эффективной диффузии влаги и ее влияния на удельное энергопотребление. // *Universum: технические науки.* –Москва, 2020. №3(72). –С.26-29.

388. Samandarov D.I. Research of the effects of elastic waves in the primary processing of cocoons of here. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology.* ISTC-2K20. 2020. P.74-76.

389. Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Ait-Kaddour A., Samandarov D.I., Saydullayev A.B. Research of the temperature field of the primary processing of silkworm cocoons. *International Journal of Advanced Science and Technology.* Vol.29, №9s. 2020. pp.2094-2098.

390. Дадаев Ф.Т., Астанакулов К.Д., Эгамбердиева З., Шокирова О. Численный метод расчета для решения уравнения в процессе сушки. Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе». Ташкент, 2020. –С.536-538.

391. Самандаров Д.И. Перенос тепла и влаги в стенке кокона тутового шелкопряда. Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе». Ташкент, 2020. –С.590-592.

392. Сафаров Ж.Э., Сайдуллаев А.Б., Эгамбердиева З., Шокирова О. Разработка методов исследования процессов переноса тепла и влаги. Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе». Ташкент, 2020. –С.632-634.

393. Султанова Ш.А., Хужакулов А.П., Махмудов К.А., Хасанова Н. Основы тепломассопереноса через пористые материалы. Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе». Ташкент, 2020. –С.656-658.

394. Zhao Y, Luo Z, Zhao P et al. Drying characteristics and kinetics of Shengli lignite using different drying methods. *Energy Convers Manag* 120, 2016, -P. 330–337.

395. StakićM, UroševićT. Experimental study and simulation of vibrated fluidized bed drying. *Chem Eng Process Process Intensif* 50, 2011. -P. 428–437.

396. Dalwafle R.V., Freire J.T. Analysis of the fluid-dynamic behavior of fluidized and vibrofluidized bed containing glycerol. *Braz J Chem Eng* 21, 2004, -P.35-46.
397. Meili L., Freire F.B., Ferreira M.C., Freire J.T. Fluid dynamics of vibrofluidized beds during the transient period of water evaporation and drying of solutions. *Chem Eng Technol* 35. 2012, -P.1803–1809.
398. Chen XD Moisture diffusivity in food and biological materials. *Dry Technol* 25, 2007, -P. 1203–1213.
399. Crank A.S. The mathematics of diffusion, 2th edn. Oxford, Claredon Press 20. Keey R.B. 1992. Drying of loose and particulate materials, 1st ed. CRC Press, Boca Raton-USA.1975.
400. Keey R.B. Drying of loose and particulate materials, 1st ed. CRC Press, Boca Raton-USA.1992.
401. Calado V.MA., Biscaia Jr. EC., Massarani G. Drying of grains in spouted bed: application of a diffusion model. In: Proceedings of the 15th Brazilian Conference on Particulate Systems (ENEMP), Uberlândia-MG, Brazil in Portuguese.1987.
402. Gastón A.L, Abalone R.M. et al. Effect of modelling assumptions on the effective water diffusivity in wheat. *BiosystEng* 88, 2004,P. 175–185.
403. Султанова Ш.А., Сафаров Ж.Э., Юлибоев М. Расчет тепломассопереноса при сушке с инфракрасным нагревом. Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе». Ташкент, 2020. –С.503-508.
404. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Самандаров Д.И. Исследования процесса первичной обработки коконов тутового шелкопряда. IX Международная научно-практическая конференция «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства». Киев, 2020. –С.215-217.
405. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Хасанова Н., Бекмуратова М. Процесс переноса влаги через пористые материалы. Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе». Ташкент, 2020. –С.492-496.
406. Самандаров Д.И., Хасанова Н.Ж. Композиционная структура и система тутовых шелкопрядов. Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе». Ташкент, 2020. –С.373-375.
407. Самандаров Д.И., Азимов А.Т., Исамухамедова У.Ш., Эркинов Д.Д. Структура коконов тутового шелкопряда. Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе». Ташкент, 2020. –С.383-385.
408. Самандаров Д.И., Жумаев Б.Т., Султанова Ш.А., Сафаров Ж.Э. Математическое описание процесса теплопроводности с помощью тепловой конвекцией в пористых материалах. Международная научно-практическая

конференция на тему “Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в сфере охраны окружающей среды”. 18-19 сентября, 2020, Ташкент.

409. Норкулова К.Т., Маматкулов М. Математическое моделирование в процессах распределения микроэлементов при обезвоживании продуктов //«Хабаршысы». Международный турецко – казахский университет имени К.А. Яссави. 2005. №2. –С.8-14.

410. Норкулова К.Т., Умаров В.Ф., Нормуродов С.Д. Динамика расслоения растворённых веществ в процессе сушки. «Актуальные проблемы естественно-научных дисциплин» Сборник материалов Международной научно-методической конференции. Алматы-2008. Ч-1. С.14-16.

411. Максудов Р.Х. Разработка бесконтактно-оперативного способа контроля состояния хлопка - сырца при его хранении в бунтах. Дисс.канд.тех.наук, 1994. -195 с

412. Narkulova K.T., Mamatkulov M., Ataev S.U. Installation for drying agricultural product; The analysis and prospects, Proceeding of the 1st Seminar among KALM. –Korea, 2003. –70-72 p.p.

413. Енохович А.С. Справочник по физике и технике. –М.: Просвещение,1983. –254 с.

414. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. –М.: Наука, 1974. –942 с.

415. Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Ait-Kaddour A., Samandarov D.I., Jumayev B.M. Optimal option drying silkworm cocoons with preserving qualitative indicators. International Journal of Advanced Science and Technology. Vol.29, №9s. 2020. pp.2099-2104.

416. Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Samandarov D.I., Zulpanov Sh.U. Energy-Efficient Technologies For Primary Processing Of Silkworm Cocoons. International Journal of Advanced Science and Technology. Vol.29, №9s. 2020. pp.5829-5833.

417. Самандаров Д.И. Характеристика куколки коконов тутового шелкопряда. IX Международная научно-практическая конференция «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства». Киев, 2020. –С.206-207.

418. Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Samandarov D.I., Zulpanov Sh.U. Speeding up the drying process of silkworm cocoons by vibration. International Journal of Advanced Science and Technology. Vol.29, №9s. 2020. pp.5834-5838.

419. Сафаров Ж.Э., Самандаров Д.И. Анализ энергопотребления процесс сушки коконов тутового шелкопряда. IX Международная научно-практическая конференция «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства». Киев, 2020. – С.213-214.

420. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Самандаров Д.И. Исследование температурного поля процесса первичной переработки коконов тутового шелкопряда. IX Международная научно-практическая конференция «Наукові

здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства». Київ, 2020. –С.218-220.

421. Самандаров Д.И. Исследование воздействия упругих волн при первичной переработке коконов тутового шелкопряда. Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе». Ташкент, 2020. –С.273-275.

422. Sultanova Sh.A., Safarov J.E., Zulpanov Sh.U., Yulibaev M. Infrared radiation and its characteristics. International scientific and practical conference "Problems and prospects of innovative machinery and technologies in the agri-food sector". Tashkent, 2020. –p.40-42.

423. Жумаев Б.М., Султанова Ш.А., Сафаров Ж.Э. Исследование и описание экспериментальных лабораторных установок. // Universum: технические науки. –Москва, 2019. №10(67).

424. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Самандаров Д.И., Дадаев Ф.Т. Устройство для морки и сушки коконов. Патент на полезной модель FAP 2019 0149 от 30.07.2019 г.

425. Эгамбердиева З.А., Шокирова О.Р., Сафаров Ж.Э. Воздействие упругих волн в процессе переработки живого кокона. VIII Международная научно-практическая конференция «Научные достижения в решении актуальных проблем производства и переработки сырья, стандартизации и безопасности продовольствия». Киев, 2019. С.316-317.

426. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Эркинов Д.Д. Результаты экспериментального исследования процесса морки и сушки коконов тутового шелкопряда (*Bombyx mori*). // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». -Ташкент, 2019. -№2. -С.28-33.

427. Сафаров Ж.Э., Зулпанова Ш.У., Самандаров Д.И., Эркинов Д.Д. Использование упругих волн в процессе первичной переработки живых коконов. Республиканский научно-технической конференции «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологии». Ташкент, 2019. С.25-26.

428. Мансуров Ф., Эркинов Д.Д., Сафаров Ж.Э. Первичная переработка коконов тутового шелкопряда с помощью инфракрасного излучения. VIII Международная научно-практическая конференция «Научные достижения в решении актуальных проблем производства и переработки сырья, стандартизации и безопасности продовольствия». Киев, 2019. С.312-313.

429. Эркинов Д.Д., Сафаров Ж.Э. Анализ упругих волн в природе. Республиканский научно-технической конференции «Роль интеллектуальной молодежи в развитии науки и техники». Ташкент, 2019. С.272-274.

430. Эгамбердиева З., Сафаров Ж.Э. Изучение вибрации на инфразвуковых частотах. Республиканский научно-технической конференции «Роль интеллектуальной молодежи в развитии науки и техники». Ташкент, 2019. С.260-261.

431. Султанова Ш.А., Самандаров Д.И., Эркинов Д.Д. Применение ультразвуковых колебаний при сушки тутового шелкопряда. Республиканский

научно-технической конференции “Проблемы и перспективы инновационной техники и технологии”. Ташкент, 2019. С.78-80.

432. Шокирова О.Р., Эгамбердиева З.А., Сафаров Ж.Э. Влияние импульсных вибраций на перерабатываемый объект. VIII Международная научно-практическая конференция «Научные достижения в решении актуальных проблем производства и переработки сырья, стандартизации и безопасности продовольствия». Киев, 2019. С. С.314-315.

433. Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Samandarov D.I. Effects of elastic waves in processing of cocoons of the type silk process. // International journal of advanced research in science, engineering and technology. –India, 2019. Vol. 6, Issue 8, p.10373-10375.

434. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Самандаров Д.И. Способ переработки коконов тутового шелкопряда с помощью инфракрасного излучения и упругих волн. // Технические науки и инновация. Ташкент, 2019. №1. С.112-118.

435. Сафаров Ж.Э., Зулпанова Ш.У., Эгамбердиева З., Шокирова О. Импульсное воздействие вибрации при морки и сушки тутового шелкопряда. Республиканский научно-технической конференции “Проблемы и перспективы инновационной техники и технологии”. Ташкент, 2019. С.65-66.

436. Сафаров Ж.Э., Самандаров Д.И., Эгамбердиева З.А., Сайдуллаев А.Б. Воздействие упругих волн в первичной переработки живых коконов. “Машинасозли ишлаб чицариш ва таълим: муаммолар ва инновацион ечимлар” мавзусидаги Республик илмий-техник анжумани. Фарғона, 2019.

437. Safarov J.E., Samandarov D.I., Saydullayev A.B., Erkinov D.D. Processing of cocoons of silkworm with the help of infrared radiation. LXIII International correspondence scientific and practical conference «International scientific review of the problems and prospects of modern science and education». Boston, USA. 2019. P.30-32.

438. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Эргашева З.К., Самандаров Д.И. Исследование техника и технологии для морки и сушки коконов тутового шелкопряда. // Universum: технические науки. –Москва, 2019. №9(66). –С.45-47.

439. Жумаев Б.М., Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А. Технологии сушки по результатам качественных показателей готовой продукции. // Universum: технические науки. –Москва, 2019. №10(67).

440. Safarov J.E., Dadaev G.T., Samandarov D.I., Xasanova N. Research processing with infrared heating cocoons of the silkworm. International scientific conference UNITECH-2019. –Gabrovo, 2019. Vol. III. p.

441. Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Samandarov D.I., Erkinov D.D. Method for creation of elastic waves using vibrator. International scientific conference UNITECH-2019. –Gabrovo, 2019. Vol. III. p.

442. Дадаев Г.Т., Эркинов Д.Д., Исамухамедова У., Мансуров Ф.Н. Изучение инфракрасного излучения для морки и сушки коконов. “Машинасозли ишлаб чицариш ва таълим: муаммолар ва инновацион ечимлар” мавзусидаги Республик илмий-техник анжумани. Фарғона, 2019.

443. Safarov J., Dadaev G., Samandarov D., Egamberdiyeva Z., Shokirova O. The effects of vibration in the process of processing a living cocoon. Международная научно-практическая конференция «Современные инновации: фундаментальные и прикладные исследования». Москва, 2019.

444. Султанова Ш.А., Сафаров Ж.Э., Жумаев Б.М. Оптимальное расположение инфракрасного излучения в сушильной установке. Республиканский научно-технической конференции “Проблемы и перспективы инновационной техники и технологии”. Ташкент, 2019. С.354-356.

445. Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Samandarov D.I. Method for primary processing of here silkworm cocoons by using infrared radiation and elastic waves. // Technical science and innovation. – Tashkent, Vol. 2019 : Iss.1. P.30-35.

446. Efremov G, Kudra T (2005) Model-based estimate for timedependent apparent diffusivity. Dry Technol 23:2513–2522.

447. Khatchaturian OA (2012) Experimental study and mathematical model for soya bean drying in thin layer. Biosyst Eng 113:54–64.

448. Carslaw HS, Jaeger J (1959) Conduction of heat in solids, 2th edn. Oxford University Press, Oxford.

449. Strumillo C, Kudra T (1986) Drying: principles, applications and design. Gordon and Breach Science Publishers, Montreaux, France.

450. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Дадаев Г.Т., Зулпанов Ш.У., Эркинов Д.Д. Разработка техники и технологии для морки и сушки коконов тутового шелкопряда. // Развитие науки и технологий. – Бухоро, 2018. №3. – С.9-13.

451. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Дадаев Г.Т. Изучение переработки куколки коконов тутового шелкопряда. Международная научно-практическая конференция “Моделирование и анализ сложных технических и технологических систем”. г.Стерлитамак, РФ. 2018 г. С. 104-105.

452. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Зулпанов Ш.У., Эркинов Д.Д. Воздействия упругих волн при первичной переработке коконов тутового шелкопряда. Международная научно-практическая конференция «Инновация - 2018». Ташкент, 2018. С.85-86.

453. Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Dadaev G.T., Zulpanov Sh.U., Erkinov D.D. Exposure of infrared rays on drying cocoon softhe silkworm. XLV International correspondence scientific and practical conference «International scientific review of the problems and prospects of modern science and education». Boston. USA, 2018. P.10-11.

454. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Эргашева З.К. Изучение первичной обработки коконов шелковичного червя // Universum: технические науки. – Москва, 2018. №10(55). –С.19-21.

455. Safarov J., Sultanova Sh., Ergasheva Z. Method of processing cocons of cocoons silkworm. V International Scientific and Practical Conference «International Trends in Science and Technology». – Warsaw, 2018. P.45-47.

456. Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Dadaev G.T. Primary processing of cocoons silkworm (*Bombyx mori*) procedure with the help infrared heating. 10th

World conference on intelligent systems for industrial automation. WCIS–2018. – Tashkent, 2018. -p.396-400.

457. Самандаров Д.И., Султанова Ш.А., Дадаев Г.Т., Сафаров Ж.Э. Сравнение данных моделирования и экспериментальных результатов, полученных при переработке коконов тутового шелкопряда. Международная научно-практическая конференция на тему “Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в сфере охраны окружающей среды”. 18-19 сентября, 2020, Ташкент.

458. Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Samandarov D.I. Results of an experimental study of the carriage and drying of cocoons of total silkins (*Bombyx mori*). International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology. ISTC-2K20. 2020. P.81-85.

459. Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Samandarov D.I. Results of an experimental study of the carriage and drying of cocoons of total silkins (*Bombyx mori*). International scientific and technical journal «Innovation technical and technology». Vol.1, №.1. 2020. pp.5-9.

460. Safarov J.E., Dadayev G.T., Zulpanov Sh.U., Erkinov D.D. Research of the state of cocoons of hereinsilk stains. International scientific and practical conference "Problems and prospects of innovative machinery and technologies in the agri-food sector". Tashkent, 2020. –p.321-323.

461. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Самандаров Д.И. Программное обеспечение математической модели предварительной переработки живого шелкопряда. DGU 06931 от 23.09.2019 г.

462. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Самандаров Д.И., Дадаев Г.Т. Устройство для морки и сушки коконов. Патент на полезной модель FAP 2019 0149 от 30.07.2019 г.

463. Сафаров Ж.Э., Самандаров Д.И. Исследование процесс переработка живых кокон. // Universum: технические науки. –Москва, 2019. №7(64). –С.21-23.

464. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Самандаров Д.И. Способ переработки живых коконов // Развитие науки и технологий. – Бухоро, 2019. №4. -С.144-149.

465. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Дадаев Г.Т., Самандаров Д.И. Энергоэффективная технология для первичной переработки коконов тутового шелкопряда // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. –Ташкент. 2019.

466. Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Samandarov D.I., Saydullaev A.B. Development of technology and technology for carriage and drying of cocoons of here. International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology. ISTC-2K20. 2020. P.77-80.

467. Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Samandarov D.I., Saydullaev A.B. Development of technology and technology for carriage and drying of cocoons of here. International scientific and technical journal «Innovation technical and technology». Vol.1, №.1. 2020. pp.26-29.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

# **ЧАСТЬ 1**

«ТАСДИҚЛАЙМАН»

Тошкент давлат техника  
университети илмий ишлар ва  
инновациялар бўйича  
проректори



проф. Нематов Ш.Қ.

«КЕЛИШИЛДИ»

Тошкент вилояти  
Ўртачирчиқ тумани  
“Агропилла” МЧЖ  
директори



О.Р.Туранкулов А.

Тошкент давлат техника университети ва Тошкент вилояти Ўртачирчиқ  
тумани “Агропилла” МЧЖ билан ҳамкорликда тирик пиллани сифатли  
жонсизлантириш ва қуритиш бўйича олиб борган илмий-тадқиқот  
ишларининг

**САНОАТ ТАЖРИБА-СИНОВ ДАЛОЛАТНОМАСИ**

Биз қуйида имзо қўювчилар, тирик пиллани сифатли жонсизлантириш ва қуритиш бўйича Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети томонидан бош илмий ходим, т.ф.д., проф. Ж.Э.Сафаров, етакчи илмий ходим, PhD., доц. Ш.А.Султанова, катта илмий ходим PhD. Ғ.Т.Дадаев, кичик илмий ходим, Д.И.Самандаровлар ҳамда Тошкент вилояти Ўртачирчиқ тумани “Агропилла” МЧЖ томонидан агроном Б.Бозоров ва агроном С.Жалиловлар тирик пиллани жонсизлантириш ва қуритиш бўйича тажриба-синов ишлари олиб боришди.

Режалаштирилган тажриба асосида қуритиш жараёни учун ташки омилларнинг (ИҚ тўлкинлар, тебраниш) таъсири ўрганиб чиқилди. Тирик пиллани жонсизлантириш ва қуритиш бўйича ҳар бир параметрлар яъни ҳарорат ва вақтнинг ўзгариши бўйича синов ишлари олиб борилди. Олиб борилган тажриба-синов ишлари натижасида қуйидаги маълумотлар олинди.

1-жадвал

№1. 300 дона тирик пиллаларни инфрақизил нур ва вибрация таъсирида қайта ишлаш бўйича тажриба синов натижалари

№	Бошланғич оғирлиги, гр	Қайта ишлангандан кейинги оғирлик, гр	Қайта ишлаш ҳарорати, °С	Қайта ишлаш вақти, (мин.)	Вибрация частотаси м/с <sup>2</sup> , кГц	15 кундан кейинги оғирлик, гр
1	511	441	50-55	6-8	1	235
2	513	435	50-55	8-10	1	226
3	510	429	50-55	10-12	1	221
4	517	438	50-55	12-14	1	219
5	512	429	50-55	14-16	1	213
6	515	421	50-55	16-18	1	209

2-жадвал

№2. 300 дона тирик пиллаларни инфрақизил нур таъсирида қайта ишлаш бўйича тажриба синов натижалари

№	Бошланғич оғирлиги, гр	Қайта ишлангандан кейинги оғирлик, гр	Қайта ишлаш ҳарорати, °С	Қайта ишлаш вақти, (мин.)	Вибрация частотаси м/с <sup>2</sup> , кГц	15 кундан кейинги оғирлик, гр
1	520	425	55-60	6-8	1	229
2	512	433	55-60	8-10	1	221
3	518	439	55-60	10-12	1	218
4	515	443	55-60	12-14	1	215
5	517	434	55-60	14-16	1	210
6	513	437	55-60	16-18	1	207

3-жадвал

№3. 300 дона тирик пиллаларни инфрақизил нур таъсирида қайта ишлаш бўйича тажриба синов натижалари

№	Бошланғич оғирлиги, гр	Қайта ишлангандан кейинги оғирлик, гр	Қайта ишлаш ҳарорати, °С	Қайта ишлаш вақти, (мин.)	Вибрация частотаси м/с <sup>2</sup> , кГц	15 кундан кейинги оғирлик, гр
1	505	422	60-65	6-8	1	219
2	500	418	60-65	8-10	1	220
3	512	416	60-65	10-12	1	215
4	510	410	60-65	12-14	1	212
5	500	409	60-65	14-16	1	217
6	501	415	60-65	16-18	1	221

4-жадвал

№4. 300 дона тирик пиллаларни инфрақизил нур таъсирида қайта ишлаш бўйича тажриба синов натижалари

№	Бошланғич оғирлиги, гр	Қайта ишлангандан кейинги оғирлик, гр	Қайта ишлаш ҳарорати, °С	Қайта ишлаш вақти, (мин.)	Вибрация частотаси м/с <sup>2</sup> , кГц	15 кундан кейинги оғирлик, гр
1	508	445	65-70	6-8	1	221
2	532	427	65-70	8-10	1	201
3	512	431	65-70	10-12	1	220
4	521	432	65-70	12-14	1	215
5	513	429	65-70	14-16	1	210
6	509	427	65-70	16-18	1	207

5-жадвал

№5. 300 дона тирик пиллаларни инфрақизил нур таъсирида қайта ишлаш бўйича тажриба синов натижалари

№	Бошланғич оғирлиги, гр	Қайта ишлангандан кейинги оғирлик, гр	Қайта ишлаш ҳарорати, °С	Қайта ишлаш вақти, (мин.)	Вибрация частотаси м/с <sup>2</sup> , кГц	15 кундан кейинги оғирлик, гр
1	521	439	70-75	6-8	1	239
2	519	429	70-75	8-10	1	207
3	523	425	70-75	10-12	1	209
4	500	421	70-75	12-14	1	211
5	510	411	70-75	14-16	1	220
6	510	413	70-75	16-18	1	214

6-жадвал

№6. 300 дона тирик пиллаларни инфрақизил нур таъсирида қайта ишлаш бўйича тажриба синов натижалари

№	Бошланғич оғирлиги, гр	Қайта ишлангандан кейинги оғирлик, гр	Қайта ишлаш ҳарорати, °С	Қайта ишлаш вақти, (мин.)	Вибрация частотаси м/с <sup>2</sup> , кГц	15 кундан кейинги оғирлик, гр
1	523	427	75-80	6-8	1	221
2	520	421	75-80	8-10	1	219
3	513	419	75-80	10-12	1	217
4	500	411	75-80	12-14	1	211
5	508	413	75-80	14-16	1	216
6	500	410	75-80	16-18	1	210

7-жадвал

№7. 300 дона тирик пиллаларни инфрақизил нур ва вибрация таъсирида қайта ишлаш бўйича тажриба синов натижалари

№	Бошланғич оғирлиги, гр	Қайта ишлангандан кейинги оғирлик, гр	Қайта ишлаш ҳарорати, °С	Қайта ишлаш вақти, (мин.)	Вибрация частотаси м/с <sup>2</sup> , кГц	15 кундан кейинги оғирлик, гр
1	524	428	50-55	6-8	2	221
2	517	419	50-55	8-10	2	215
3	521	422	50-55	10-12	2	218
4	519	415	50-55	12-14	2	210
5	514	410	50-55	14-16	2	209
6	522	414	50-55	16-18	2	210

8-жадвал

№8. 300 дона тирик пиллаларни инфрақизил нур таъсирида қайта ишлаш бўйича тажриба синов натижалари

№	Бошланғич оғирлиги, гр	Қайта ишлангандан кейинги оғирлик, гр	Қайта ишлаш ҳарорати, °С	Қайта ишлаш вақти, (мин.)	Вибрация частотаси м/с <sup>2</sup> , кГц	15 кундан кейинги оғирлик, гр
1	518	429	55-60	6-8	2	222
2	531	423	55-60	8-10	2	217
3	525	425	55-60	10-12	2	219
4	530	419	55-60	12-14	2	211
5	527	415	55-60	14-16	2	208
6	529	417	55-60	16-18	2	211

9-жадвал

№9. 300 дона тирик пиллаларни инфрақизил нур таъсирида қайта ишлаш бўйича тажриба синов натижалари

№	Бошланғич оғирлиги, гр	Қайта ишлангандан кейинги оғирлик, гр	Қайта ишлаш ҳарорати, °С	Қайта ишлаш вақти, (мин.)	Вибрация частотаси м/с <sup>2</sup> , кГц	15 кундан кейинги оғирлик, гр
1	521	428	60-65	6-8	2	222
2	519	421	60-65	8-10	2	219
3	523	419	60-65	10-12	2	220
4	521	407	60-65	12-14	2	219
5	525	409	60-65	14-16	2	213
6	515	405	60-65	16-18	2	210

10-жадвал

№10. 300 дона тирик пиллаларни инфрақизил нур таъсирида қайта ишлаш бўйича тажриба синов натижалари

№	Бошланғич оғирлиги, гр	Қайта ишлангандан кейинги оғирлик, гр	Қайта ишлаш ҳарорати, °С	Қайта ишлаш вақти, (мин.)	Вибрация частотаси м/с <sup>2</sup> , кГц	15 кундан кейинги оғирлик, гр
1	519	431	6-8	65-70	2	223
2	515	435	8-10	65-70	2	221
3	520	425	10-12	65-70	2	218
4	512	421	12-14	65-70	2	210
5	509	411	14-16	65-70	2	207
6	524	413	16-18	65-70	2	203

11-жадвал

№11. 300 дона тирик пиллаларни инфрақизил нур таъсирида қайта ишлаш бўйича тажриба синов натижалари

№	Бошланғич оғирлиги, гр	Қайта ишлангандан кейинги оғирлик, гр	Қайта ишлаш ҳарорати, °С	Қайта ишлаш вақти, (мин.)	Вибрация частотаси м/с <sup>2</sup> , кГц	15 кундан кейинги оғирлик, гр
1	523	429	70-75	6-8	2	223
2	520	421	70-75	8-10	2	218
3	513	432	70-75	10-12	2	221
4	500	425	70-75	12-14	2	209
5	541	421	70-75	14-16	2	207
6	524	417	70-75	16-18	2	206

12-жадвал

№12. 300 дона тирик пиллаларни инфрақизил нур таъсирида қайта ишлаш бўйича тажриба синов натижалари

№	Бошланғич оғирлиги, гр	Қайта ишлангандан кейинги оғирлик, гр	Қайта ишлаш ҳарорати, °С	Қайта ишлаш вақти, (мин.)	Вибрация частотаси м/с <sup>2</sup> , кГц	15 кундан кейинги оғирлик, гр
1	531	425	75-80	6-8	2	211
2	527	429	75-80	8-10	2	210
3	530	422	75-80	10-12	2	209
4	525	434	75-80	12-14	2	207
5	519	428	75-80	14-16	2	203
6	529	423	75-80	16-18	2	204

Ўтказилган тажриба синов ишлари натижасига кўра 55-60 °С ҳарорат оралиғида қайта ишланган тирик пиллаларда 15 кун ўтгандан сўнг 25-30% қисмида моғор пайдо бўлди, 15-20% қисмидан капалак учиб чиқиши кузатилди. 75-80 °С ҳарорат оралиғида қайта ишланган тирик пиллаларнинг 10-15% қуртидан суюқлик чиқиши натижасида пилланинг сифати бузилди. 65-70 °С ҳарорат оралиғида, вибрация тўлқинлари таъсирида қайта ишланган тирик пилла қуртлари 8-10 дақиқада 100% ўлиши ва 38-40 °С хона ҳароратида 10 кун тургандан 10-12%гача сифатли қуриши аниқланди. Маҳсулот ва инфрақизил нур тарқатувчи трубка оптимал масофасини топиш бўйича олиб борилган тажриба натижалари кўра 10 см оптимал масофа эканлиги аниқланди.

**Имзо қўювчилар:**

**ТошДТУ  
томонидан**

**“Ўртачирчиқ тумани Агропилла”  
МЧЖ томонидан**

проф. Сафаров Ж.Э.



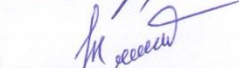
Бозоров Б.



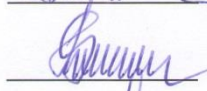
доц. Султанова Ш.А.



Жалилов С.



Дадаев Ф.Т.



Самандаров Д.И.



## «ТАСДИҚЛАЙМАН»

Тошкент давлат техника  
университети илмий ишлар ва  
инновациялар бўйича проректори



Курбонов М.Ш.

10.08.2018 й.

## «КЕЛИШИЛДИ»

Ипакчилик илмий-тадқиқот  
институтининг директори



Валиев С.Т.

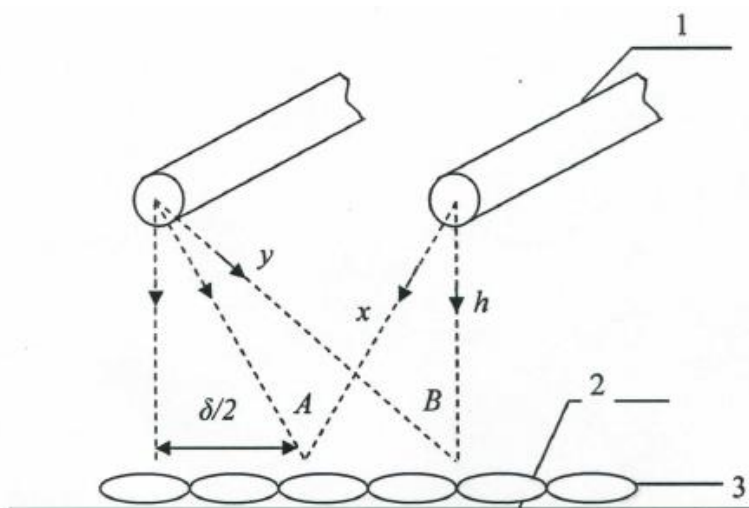
10.08.2018 й.

**ТАЖРИБА-СИНОВ ДАЛОЛАТНОМАСИ**

Биз қуйида имзо қўювчилар, Ф-А-2018-029–сонли «Ипак қурти ғумбагини жонсизлантириш ва қуритиш учун техника ва технология ишлаб чиқиш» мавзусидаги амалий лойиҳа иштирокчилари, Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети томонидан лойиҳа раҳбари, етакчи илмий ходим, т.ф.д. Ж.Э.Сафаров, катта илмий ходим, доц. Ш.А.Султанова, катта илмий ходим Ғ.Т.Дадаев, техник Д.Д.Эркиновлар ҳамда Ипакчилик илмий тадқиқот институти томонидан катта илмий ходим С.З.Арипов, катта илмий ходим Х.Жабборовлар тирик пиллани жонсизлантириш ва қуритиш бўйича тажриба-синов ишлари олиб боришди. Олиб борилган тажриба-синов ишлари натижасида қўйидаги маълумотлар олинди (1-2 жадваллар).

Ўтказилган тажриба синов ишлари натижасига кўра, режалаштирилган тажриба асосида қуритиш жараёни учун ташқи омилларнинг (ИҚ тўлқинлар, тебраниш) таъсири ўрганиб чиқилган. Корреляцион коэффицентлар ва математик моделлар олинган ва ушбу бажарилган тажрибаларнинг статик ишлови амалга оширилган. Қуритиш вақти  $r_{1t}=0,84$ ;  $r_{2t}=0,85$ ;  $r_{3t}=0,85$  ва энергия сарфига  $r_{1Q}=0,83$ ;  $r_{2Q}=0,83$ ;  $r_{3Q}=0,63$  корреляциянинг чизиқли коэффицентини олинди.

Пилла қуртини жонсизлантириш ва қуритиш бўйича 5 маротабадан қайта тажриба синов ишлари ўтказилди. ИҚ нурлатгични кўриб чиқамиз. Параллел керамик найчалар тўрли материалдан ташкил топган текисликни қиздирсин (1-расм).



1–нурлатгич; 2–сетка юзаси; 3–маҳсулот.  
**1-расм. Параллел керамик трубкалар ёрдамида ҳосил бўлган ИҚ-майдон**

Нурланаётган А ва В нуқталарни таққослаш учун ҳисоблаб чиқамиз.  $I = I_0 \cdot \frac{1}{r^2}$  қувват билан цилиндрик нурлатгичлар таъсир қилади, бунда  $r$ – радиусга тенг бўлган ўқдан цилиндр юзасигача бўлган масофа,  $m$ ,  $l$ – $r$  масофасида нурланишнинг оқим қуввати,  $Vm$ , яъни майдон бирлигидан вақт бирлигига ўтувчи  $r$  масофасида инфрақизил тўлқинларнинг энергияси,  $I_0$ –керамик найчали нурлатгичнинг тўлиқ оқими.

А нуқтага  $\frac{2I_0}{x^2}$  нурланиш кучи, В нуқтасига эса  $\frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{y^2}$  йўналтирилганлиги кўриниб турибди.  $y^2 = h + \sqrt{x^2 - h^2}$  эканлигини эътиборга оламиз.

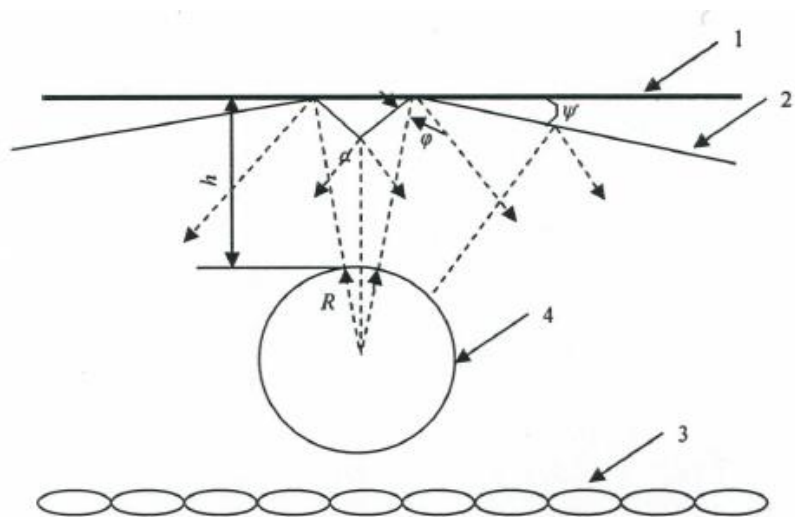
Инфрақизил нурланишнинг тенглигида А ва В нуқталарда қуйидагига эгамиз:

$$\frac{2I_0}{x^2} = \frac{I_0}{h^2} + \frac{I_0}{h + 2\sqrt{x^2 - h^2}} \quad (1)$$

$\xi = \frac{x}{h}$  бу белгини қўллаб,

$$\xi^2 + \xi + 2 = 0 \text{ ни оламиз} \quad (2)$$

Бу ерда  $x$ ,  $y$ –координаталар,  $m$ ,  $h$ –нурлатгич ва нур қайтариш текислигининг асосий оралиғидаги масофа,  $m$ ,  $\xi$ – ўлчовсиз катталиқ.



1–йўналтирувчирама; 2–нур қайтаргич; 3–хом ашё;  
4–ИҚ найча.

**2-расм. Шакли нурқайтаргич схемаси**

(2) тенглик  $\xi$  ни барча қийматларда 0 га тенглигини, яъни дискриминант 0 дан фарқли бўлгани сабабли у бажарилмайди. Бу эса оддий дискрет найчалар ёрдамида бир текисда инфрақизил нурланишни олиб бориш имконияти йўқлигидан далолат беради. Бу тенглик нурлатгич диаметрига нисбатан нурланаётган нуқта масофаси катта бўлганда тўғри келади. Бироқ, кўп ҳолларда нурлатгичлар ўзаро нурлатгич диаметрига нисбатан масофаси қисқа бўлиб жойлашган бўлади. Инфрақизил нурли қуритиш камераларида бошқа мавжуд ҳолда, кўп қаватли қуритиш тўрлари тескари самара беради. Бу ҳолатни бартараф этиш учун янги шакли нур қайтаргичлар системаси таклиф этилади. Нур қайтаргичлар фақатгина бир текис нур қайтарибгина қолмасдан, балки ташқи тарафи билан маҳсулот заррачаларини нур қайтаргичлар юзасига тушувчи суюқликни тушишининг олдини олади.

Нурланишнинг максимал шароитида олинган қийматлари: деворлар оралиғидаги масофа –170 мм, найча диаметри –22 мм, тўр ва нурлатгич оралиғидаги масофа –135 мм, нурлатгич юзаси ва нур қайтаргичнинг нисбатан энг ўзоқ нуқтаси оралиғидаги масофа –22 мм. Бунда:  $\varphi_{max}=27,4^{\circ}$ ;  $\varphi_{min}=18,3^{\circ}$ ;  $\psi \leq (\varphi_{max}-\varphi_{min})=19,1^{\circ}$ . Найчаларнинг оралиқ масофаси 400 мм бўлиб, параллел жойлашганида нурланишнинг бир меъёрда тақсимланиши ва нурлатилаётган юза максимал қўлланилишига эришилади.

Тирик пиллаларни инфрақизил нур ва инфрақизил нур-вибрация ва эластик тўлқинлар таъсирида қайта ишлаш бўйича тажриба синов натижалари (ИҚ нур тарқатувчи трубка ва маҳсулот орасидаги масофа 10 см)

Тажриба рақами	Пилланинг бошланғич оғирлиги, гр	ИҚ-нур остида қайта ишлангандан сўнгги оғирлиги, гр	ИҚ-нур ва вибрация тўлқин таъсирида қайта ишлангандан сўнгги оғирлиги, гр	ИҚ-нур ва эластик тўлқин таъсирида қайта ишлангандан сўнгги оғирлиги, гр	ИҚ-нурда қайта ишланган пилланинг 10 кундан кейинги оғирлиги, гр	ИҚ-нур ва вибрация тўлқин таъсирида қайта ишланган пилланинг 10 кундан кейинги оғирлиги, гр	ИҚ-нур ва эластик тўлқин таъсирида қайта ишланган пилланинг 10 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш ҳарорати, °С	Қайта ишлаш вақти, мин
1	112,7	105,5	102,8	104,3	97,7	94,3	96,9	55-60	5
2	111,5	102,8	100,3	101,5	94,8	91,6	94,1	55-60	10
3	110,9	101,4	98,6	100,7	93,3	89,9	92,4	55-60	20
4	111,5	101,7	97,7	101,4	91,7	86,9	91,8	55-60	30
5	111,7	101,2	96,3	100,2	90,3	82,0	88,4	55-60	50
6	111,3	100,0	95,4	99,2	89,3	81,0	87,4	55-60	70
7	112,3	100,0	95,2	99,2	89,2	80,9	87,3	55-60	90
8	113,4	105,0	103,2	104,5	85,7	80,9	83,0	60-65	5
9	113,1	100,7	97,0	99,9	85,2	79,5	82,3	60-65	10
10	113,5	100,6	96,1	98,6	84,4	78,1	81,2	60-65	20
11	113,6	100,3	94,9	98,3	83,7	76,7	81,1	60-65	30
12	114,7	99,1	93,6	97,1	82,3	76,4	79,4	60-65	50
13	111,6	98,7	93,5	97,7	81,7	76,4	79,3	60-65	70
14	111,7	98,3	93,4	96,8	81,7	76,3	78,9	60-65	90
15	113,5	106,0	102,6	103,9	84,0	79,0	81,6	65-70	5
16	113,7	100,5	95,8	98,3	82,7	77,4	80,2	65-70	10
17	113,2	98,8	94,1	96,7	82,0	75,7	79,6	65-70	20
18	113,6	98,2	92,4	96,3	81,1	74,8	78,8	65-70	30
19	113,3	97,6	92,2	96,2	81,1	74,6	78,4	65-70	50
20	111,8	97,2	92,1	96,1	80,7	74,5	78,1	65-70	70
21	113,9	96,9	91,8	95,8	80,3	74,4	77,9	65-70	90
22	112,8	104,6	102,3	103,1	83,1	78,2	80,9	70-75	5
23	112,7	99,7	95,4	97,4	82,0	76,6	79,6	70-75	10
24	113,4	98,2	93,4	95,9	81,2	75,2	79,1	70-75	20
25	113,4	97,2	92,0	95,4	80,5	74,9	78,8	70-75	30
26	113,2	97,1	91,6	95,4	80,5	74,5	78,2	70-75	50
27	113,5	96,9	91,5	95,3	80,0	74,4	78,0	70-75	70
28	112,8	96,4	91,6	95,0	80,0	74,3	77,6	70-75	90
29	111,5	104,0	101,8	102,5	82,7	77,9	80,4	75-85	5

30	111,8	99,3	95,1	97,0	81,8	76,3	79,3	75-85	10
31	113,6	97,8	93,1	95,5	81,1	74,8	78,7	75-85	20
32	111,1	96,8	91,5	95,0	80,4	74,8	78,5	75-85	30
33	113,4	96,7	91,3	94,9	80,2	74,7	77,8	75-85	50
34	114,8	96,7	91,2	94,8	79,7	74,6	77,9	75-85	70
35	113,6	96,1	91,1	94,7	79,7	74,5	77,2	75-85	90

2-жадвал

Тирик пиллаларни инфрақизил нур ва инфрақизил нур-вибрация ва эластик тўлқинлар таъсирида қайта ишлаш бўйича тажриба синов натижалари (ИҚ нур тарқатувчи трубка ва маҳсулот орасидаги масофа 10 см)

Тажриба рақами	Пилланинг бошланғич оғирлиги, гр	ИҚ-нур остида қайта ишлангандан сўнгги оғирлиги, гр	ИҚ-нур ва вибрация тўлқин таъсирида қайта ишлангандан сўнгги оғирлиги, гр	ИҚ-нур ва эластик тўлқин таъсирида қайта ишлангандан сўнгги оғирлиги, гр	ИҚ-нурда қайта ишланган пилланинг 10 кундан кейинги оғирлиги, гр	ИҚ-нур ва вибрация тўлқин таъсирида қайта ишланган пилланинг 10 кундан кейинги оғирлиги, гр	ИҚ-нур ва эластик тўлқин таъсирида қайта ишланган пилланинг 10 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш ҳарорати, °С	Қайта ишлаш вақти, мин
1	112,7	105,5	102,8	104,3	97,7	94,3	96,9	55-60	5
2	113,4	105,0	103,2	104,5	85,7	80,9	83,0	60-65	5
3	113,5	106,0	102,6	103,9	84,0	79,0	81,6	65-70	5
4	112,8	104,6	102,3	103,1	83,1	78,2	80,9	70-75	5
5	111,5	104,0	101,8	102,5	82,7	77,9	80,4	75-85	5
6	111,5	102,8	100,3	101,5	94,8	91,6	94,1	55-60	10
7	113,1	100,7	97,0	99,9	85,2	79,5	82,3	60-65	10
8	113,7	100,5	95,8	98,3	82,7	77,4	80,2	65-70	10
9	112,7	99,7	95,4	97,4	82,0	76,6	79,6	70-75	10
10	111,8	99,3	95,1	97,0	81,8	76,3	79,3	75-85	10
11	110,9	101,4	98,6	100,7	93,3	89,9	92,4	55-60	20
12	113,5	100,6	96,1	98,6	84,4	78,1	81,2	60-65	20
13	113,2	98,8	94,1	96,7	82,0	75,7	79,6	65-70	20
14	113,4	98,2	93,4	95,9	81,2	75,2	79,1	70-75	20
15	113,6	97,8	93,1	95,5	81,1	74,8	78,7	75-85	20
16	111,5	101,7	97,7	101,4	91,7	86,9	91,8	55-60	30
17	113,6	100,3	94,9	98,3	83,7	76,7	81,1	60-65	30
18	113,6	98,2	92,4	96,3	81,1	74,8	78,8	65-70	30
19	113,4	97,2	92,0	95,4	80,5	74,9	78,8	70-75	30
20	111,1	96,8	91,5	95,0	80,4	74,8	78,5	75-85	30
21	111,7	101,2	96,3	100,2	90,3	82,0	88,4	55-60	50
22	114,7	99,1	93,6	97,1	82,3	76,4	79,4	60-65	50

23	113,3	97,6	92,2	96,2	81,1	74,6	78,4	65-70	50
24	113,2	97,1	91,6	95,4	80,5	74,5	78,2	70-75	50
25	113,4	96,7	91,3	94,9	80,2	74,7	77,8	75-85	50
26	111,3	100,0	95,4	99,2	89,3	81,0	87,4	55-60	70
27	111,6	98,7	93,5	97,7	81,7	76,4	79,3	60-65	70
28	111,8	97,2	92,1	96,1	80,7	74,5	78,1	65-70	70
29	113,5	96,9	91,5	95,3	80,0	74,4	78,0	70-75	70
30	114,8	96,7	91,2	94,8	79,7	74,6	77,9	75-85	70
31	112,3	100,0	95,2	99,2	89,2	80,9	87,3	55-60	90
32	111,7	98,3	93,4	96,8	81,7	76,3	78,9	60-65	90
33	113,9	96,9	91,8	95,8	80,3	74,4	77,9	65-70	90
34	112,8	96,4	91,6	95,0	80,0	74,3	77,6	70-75	90
35	113,6	96,1	91,1	94,7	79,7	74,5	77,2	75-85	90

Тирик пиллани жонсизлантириш ва қуритишда ҳарорат ва вақтнинг ўзгариши бўйича 5 мартадан қайта тажриба синов ишлари олиб борилди ва уларнинг ўртача қийматлари олинди. 65-70 °С ҳарорат оралиғида, вибрация тўлқинлари таъсирида қайта ишланган тирик пилла қуртлари 3-5 минутда 100% ўлиши ва 38-42 °С хона ҳароратида 10 кун тургандан 10-12%гача сифатли қуриши аниқланди. Эластик тўлқин ёрдамида қайта ишланган пилла қуртлари вибрация тўлқинига нисбатан 5-10% маротаба секин қуриши кузатилди. Маҳсулот ва инфрақизил нур тарқатувчи трубка оптимал масофасини топиш бўйича олиб борилган тажриба натижалари кўра 10 см оптимал масофа эканлиги аниқланди.

Имзо қўювчилар:

ТошДУ  
томонидан

Ипакчилик илмий тадқиқот  
институти томонидан

т.ф.д. Сафаров Ж.Э.

Арипов С.З.

доц. Султанова Ш.А.

Жабборов Х.

Дадаев Ф.Т.

Эркинов Д.Д.

«ТАСДИҚЛАЙМАН»

Илмий-тадқиқот  
институтининг директори



С.Т.Валиев

25.06.2018 й.

«ТАСДИҚЛАЙМАН»

Тошкент давлат техника  
университетининг проректори



Б.Х.Мирзахмедов

21.06.2018 й.

### Тажриба-синов далолатномаси

Биз қўйда имзо қўювчилар, Ф-А-2018-029–сонли «Ипак қурти ғумбагини жонсизлантириш ва қуритиш учун техника ва технология ишлаб чиқиш» мавзусидаги амалий лойиҳа иштирокчилари, Тошкент давлат техника университети томонидан лойиҳа раҳбари, етакчи илмий ходим, т.ф.д. Ж.Э.Сафаров, кагга илмий ходим, доц. Ш.А.Султанова, кагга илмий ходим Ғ.Т.Дадаев, кичик илмий ходим Ш.Ў.Зулпанов, техник Д.Д.Эркиновлар ҳамда Ипакчилик илмий тадқиқот институтининг томонидан кагга илмий ходим С.З.Арипов, кагга илмий ходим Х.Жабборовлар ипак қурти ғумбагини жонсизлантириш ва қуритиш бўйича тажриба-синов ишлари олиб боришди.

Олиб борилган тажриба-синов ишлари натижасида қўйдаги маълумотлар олинди.

№1. Ипак курти ғумбагини қайта ишлашда инфрақизил нур ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Махсулот номи	Бошланғич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Курилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	15 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги харорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см
1	Ипак курти ғумбаги	49.9	23	47.1	31.2	55	60	10
2	Ипак курти ғумбаги	50.3	23	46.6	30.5	60	60	10
3	Ипак курти ғумбаги	50.1	23	45.8	30.0	65	60	10
4	Ипак курти ғумбаги	50.2	23	45.2	29.8	70	60	10
5	Ипак курти ғумбаги	49.7	23	44.8	29.5	75	60	10
6	Ипак курти ғумбаги	50.2	23	44.3	29.1	80	60	10

№1. Ипак курти ғумбагини қайта ишлашда инфрақизил нур ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Махсулот номи	Бошланғич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Курилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	15 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги харорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см
1	Ипак курти ғумбаги	50.2	23	46.7	30.6	55	90	10
2	Ипак курти ғумбаги	49.9	23	45.8	30.2	60	90	10
3	Ипак курти ғумбаги	50.3	23	44.9	29.7	65	90	10
4	Ипак курти ғумбаги	50.1	23	44.6	29.4	70	90	10
5	Ипак курти ғумбаги	49.8	23	43.9	28.9	75	90	10
6	Ипак курти ғумбаги	50.1	23	43.5	28.6	80	90	10

Олиб борилган тажриба синов ишлари нагижасига кўра 1-9 жадвалларда келтирилган маълумотларга асосан ипак курти ғумбагини қайта ишлаш учун оптимал ҳарорат 70-75 °С, инфрақизил нур тарқатувчи трубка ва маҳсулот оралигидаги оптимал оралиқ масофа 10-15 см, ипак курти ғумбагини қайта ишлаш учун оптимал вақт 120 минутни ташкил этди.

10-18 жадвалларда келтирилган маълумотларга асосан ипак курти ғумбагини қайта ишлаш учун оптимал ҳарорат 65-70 °С, инфрақизил нур тарқатувчи трубка ва маҳсулот оралигидаги оптимал оралиқ масофа 10-15 см, ипак курти ғумбагини қайта ишлаш учун оптимал вақт 90 минутни ташкил этди.

### Имзо кўювчилар:


Ипакчилик илмий тадқиқот  
институты томонидан

  
Арипов С.З.


  
Жабборов Х.


ТошДТУ томонидан

  
Ғ.ф.д. Сафаров Ж.Э.

  
доц. Султанова Ш.А.

  
Дадаев Ғ.Т.

  
Зулпанов Ш.Ў.

  
Эркинов Д.Д.

«ТАСДИҚЛАЙМАН»

Тошкент давлат техника  
университети илмий ишлар ва  
инновациялар бўйича

проректори



Курбонوف М.Ш.

«КЕЛИШИЛДИ»

Ипакчилик илмий-тадқиқот  
институту директори



Валиев С.Т.

ТАЖРИБА-СИНОВ ДАЛОЛАТНОМАСИ

Биз куйида имзо кўювчилар, Ф-А-2018-029–сонли «Ипак курти ғумбагини жонсизлантириш ва куриштиш учун техника ва технология ишлаб чиқиш» мавзусидаги амалий лойиҳа иштирокчилари, Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети томонидан лойиҳа раҳбари, етакчи илмий ходим, т.ф.д. Ж.Э.Сафаров, катта илмий ходим, доц. Ш.А.Султанова, катта илмий ходим Ғ.Т.Дадаев, кичик илмий ходим Ш.Ў.Зулпанов, техник Д.Д.Эркиновлар ҳамда Ипакчилик илмий тадқиқот институти томонидан катта илмий ходим С.З.Арипов, катта илмий ходим Х.Жабборовлар тирик пилланинг баҳорда боқилган “Ипакчи-1” дурагай навини жонсизлантириш ва куриштиш бўйича тажриба-синов ишлари олиб боришди. Олиб борилган тажриба-синов ишлари натижасида кўйидаги маълумотлар олинди.

№4. Тирик пилларни қайта ишлашда инфрақизил нур ҳамда вибрация ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Курилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	10 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги харорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см	Вибрация чатотаси, м/с <sup>2</sup> , кГц
1	Тирик пилла	49.5	23	43.8	28.8	55	60	10	1
2	Тирик пилла	50.2	23	43.1	28.3	60	60	10	1
3	Тирик пилла	49.6	23	42.5	28.0	65	60	10	1
4	Тирик пилла	50.4	23	41.7	27.6	70	60	10	1
5	Тирик пилла	50.3	23	41.2	27.2	75	60	10	1
6	Тирик пилла	49.8	23	40.2	26.7	80	60	10	1

№4. Тирик пилларни қайта ишлашда инфрақизил нур ҳамда вибрация ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Курилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	10 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги харорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см	Вибрация чатотаси, м/с <sup>2</sup> , кГц
1	Тирик пилла	49.7	23	43.2	28.3	55	90	10	1
2	Тирик пилла	49.6	23	42.1	28.0	60	90	10	1
3	Тирик пилла	50.2	23	41.3	27.5	65	90	10	1
4	Тирик пилла	50.5	23	40.8	27.1	70	90	10	1
5	Тирик пилла	50.1	23	40.2	26.7	75	90	10	1
6	Тирик пилла	49.8	23	39.7	26.0	80	90	10	1

№4. Тирик пилларни қайта ишлашда инфрақизил нур ҳамда вибрация ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошлангич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Курилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	10 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги харорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см	Вибрация частотаси, м/с <sup>2</sup> , кГц
1	Тирик пилла	50.0	23	41.1	27.2	55	120	10	1
2	Тирик пилла	49.8	23	40.3	26.7	60	120	10	1
3	Тирик пилла	49.2	23	39.8	26.1	65	120	10	1
4	Тирик пилла	49.7	23	39.1	25.7	70	120	10	1
5	Тирик пилла	50.2	23	38.2	25.4	75	120	10	1
6	Тирик пилла	49.0	23	37.2	25.1	80	120	10	1

№5. Тирик пилларни қайта ишлашда инфрақизил нур ҳамда вибрация ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошлангич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Курилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	10 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги харорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см	Вибрация частотаси, м/с <sup>2</sup> , кГц
1	Тирик пилла	50.5	23	43.5	28.6	55	60	15	2
2	Тирик пилла	49.6	23	43.0	28.1	60	60	15	2
3	Тирик пилла	49.0	23	42.3	27.7	65	60	15	2
4	Тирик пилла	50.5	23	41.6	27.2	70	60	15	2
5	Тирик пилла	49.5	23	41.1	27.0	75	60	15	2
6	Тирик пилла	49.4	23	40.2	26.5	80	60	15	2

№5. Тирик пилаларни қайта ишлашда инфрақизил нур ҳамда вибрация ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Курилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	10 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги харорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см	Вибрация чатотаси, м/с <sup>2</sup> , кГц
1	Тирик пилла	50.2	23	43.5	28.4	55	90	15	2
2	Тирик пилла	49.9	23	43.1	28.0	60	90	15	2
3	Тирик пилла	50.3	23	42.7	27.6	65	90	15	2
4	Тирик пилла	50.1	23	41.1	27.2	70	90	15	2
5	Тирик пилла	49.8	23	40.6	27.0	75	90	15	2
6	Тирик пилла	50.1	23	40.2	26.6	80	90	15	2

№5. Тирик пилаларни қайта ишлашда инфрақизил нур ҳамда вибрация ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Курилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	10 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги харорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см	Вибрация чатотаси, м/с <sup>2</sup> , кГц
1	Тирик пилла	50.0	23	42.1	28.1	55	120	15	2
2	Тирик пилла	50.5	23	41.5	27.6	60	120	15	2
3	Тирик пилла	50.2	23	40.2	26.5	65	120	15	2
4	Тирик пилла	49.0	23	39.6	26.2	70	120	15	2
5	Тирик пилла	49.4	23	39.0	25.8	75	120	15	2
6	Тирик пилла	50.3	23	38.2	25.5	80	120	15	2

№6. Тирик пиллаларни қайта ишлашда инфрақизил нур ҳамда вибрация ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	10 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги харорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см	Вибрация частотаси, м/с <sup>2</sup> , кГц
1	Тирик пилла	50.3	23	44.5	29.4	55	60	20	3
2	Тирик пилла	50.0	23	43.0	28.5	60	60	20	3
3	Тирик пилла	49.5	23	42.6	28.0	65	60	20	3
4	Тирик пилла	49.8	23	41.3	27.3	70	60	20	3
5	Тирик пилла	49.0	23	40.7	27.0	75	60	20	3
6	Тирик пилла	50.8	23	40.3	26.5	80	60	20	3

№6. Тирик пиллаларни қайта ишлашда инфрақизил нур ҳамда вибрация ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	10 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги харорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см	Вибрация частотаси, м/с <sup>2</sup> , кГц
1	Тирик пилла	49.5	23	44.1	29.5	55	90	20	3
2	Тирик пилла	49.6	23	43.3	28.6	60	90	20	3
3	Тирик пилла	50.0	23	43.0	28.2	65	90	20	3
4	Тирик пилла	49.7	23	42.2	27.6	70	90	20	3
5	Тирик пилла	49.0	23	41.4	27.0	75	90	20	3
6	Тирик пилла	50.6	23	40.7	26.4	80	90	20	3

№6. Тирик пиллаларни қайта ишлашда инфракизил нур ҳамда вибрация ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошлангич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	10 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги харорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см	Вибрация частотаси, м/с <sup>2</sup> , кГц
1	Тирик пилла	49.2	23	42.8	27.7	55	120	20	3
2	Тирик пилла	49.5	23	42.2	27.2	60	120	20	3
3	Тирик пилла	50.5	23	41.8	26.7	65	120	20	3
4	Тирик пилла	49.0	23	40.0	26.0	70	120	20	3
5	Тирик пилла	49.4	23	39.2	25.8	75	120	20	3
6	Тирик пилла	50.8	23	38.4	25.2	80	120	20	3

№1. Тирик пиллаларни қайта ишлашда инфракизил нур ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошлангич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	15 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги харорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см
1	Тирик пилла	49.9	23	47.1	31.2	55	60	10
2	Тирик пилла	50.3	23	46.6	30.5	60	60	10
3	Тирик пилла	50.1	23	45.8	30.0	65	60	10
4	Тирик пилла	50.2	23	45.2	29.8	70	60	10
5	Тирик пилла	49.7	23	44.8	29.5	75	60	10
6	Тирик пилла	50.2	23	44.3	29.1	80	60	10

№1. Тирик пилларни қайта ишлашда инфракизил нур ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Курилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	15 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги ҳарорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см
1	Тирик пилла	50.2	23	46.7	30.6	55	90	10
2	Тирик пилла	49.9	23	45.8	30.2	60	90	10
3	Тирик пилла	50.3	23	44.9	29.7	65	90	10
4	Тирик пилла	50.1	23	44.6	29.4	70	90	10
5	Тирик пилла	49.8	23	43.9	28.9	75	90	10
6	Тирик пилла	50.1	23	43.5	28.6	80	90	10

№1. Тирик пилларни қайта ишлашда инфракизил нур ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Курилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	15 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги ҳарорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см
1	Тирик пилла	50.4	23	44.7	29.8	55	120	10
2	Тирик пилла	49.7	23	43.9	29.4	60	120	10
3	Тирик пилла	50.2	23	43.1	29.1	65	120	10
4	Тирик пилла	49.3	23	42.2	28.6	70	120	10
5	Тирик пилла	49.8	23	41.5	28.2	75	120	10
6	Тирик пилла	50.3	23	40.6	27.4	80	120	10

№2. Тирик пиллаларни қайта ишлашда инфрақизил нур ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	15 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги ҳарорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см
1	Тирик пилла	50.5	23	47.7	31.5	55	60	15
2	Тирик пилла	49.8	23	46.9	30.9	60	60	15
3	Тирик пилла	49.2	23	46.2	30.5	65	60	15
4	Тирик пилла	50.2	23	45.8	30.2	70	60	15
5	Тирик пилла	49.5	23	45.1	29.9	75	60	15
6	Тирик пилла	49.6	23	44.5	29.6	80	60	15

№2. Тирик пиллаларни қайта ишлашда инфрақизил нур ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	15 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги ҳарорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см
1	Тирик пилла	50.2	23	47.1	31.5	55	90	15
2	Тирик пилла	49.9	23	46.2	30.8	60	90	15
3	Тирик пилла	50.3	23	45.4	30.6	65	90	15
4	Тирик пилла	50.1	23	44.9	30.2	70	90	15
5	Тирик пилла	49.8	23	44.3	30.0	75	90	15
6	Тирик пилла	50.1	23	43.8	29.5	80	90	15

№2. Тирик пилларни қайта ишлашда инфрақизил нур ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошлангич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	15 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги ҳарорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см
1	Тирик пилла	50.4	23	45.6	30.3	55	120	15
2	Тирик пилла	49.7	23	44.8	30.1	60	120	15
3	Тирик пилла	50.2	23	43.7	29.6	65	120	15
4	Тирик пилла	49.3	23	43.2	29.0	70	120	15
5	Тирик пилла	49.8	23	42.4	28.6	75	120	15
6	Тирик пилла	50.3	23	41.9	27.8	80	120	15

№3. Тирик пилларни қайта ишлашда инфрақизил нур ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошлангич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	15 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги ҳарорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см
1	Тирик пилла	49.8	23	48.1	31.8	55	60	20
2	Тирик пилла	50.5	23	47.7	31.2	60	60	20
3	Тирик пилла	50.1	23	47.1	30.7	65	60	20
4	Тирик пилла	49.5	23	46.4	30.5	70	60	20
5	Тирик пилла	49.2	23	46.1	30.2	75	60	20
6	Тирик пилла	50.3	23	45.8	29.8	80	60	20

№3. Тирик пилларарни қайта ишлашда инфрақизил нур ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Курилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	15 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги ҳарорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см
1	Тирик пилла	50.2	23	47.8	31.0	55	90	20
2	Тирик пилла	49.9	23	47.2	30.6	60	90	20
3	Тирик пилла	50.3	23	46.7	30.2	65	90	20
4	Тирик пилла	50.1	23	45.9	30.0	70	90	20
5	Тирик пилла	49.8	23	45.4	29.5	75	90	20
6	Тирик пилла	50.1	23	44.9	29.0	80	90	20

№3. Тирик пилларарни қайта ишлашда инфрақизил нур ёрдамида вақт ва паддонлар орасидаги масофанинг ўзгариши бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги, гр	Пилла сони, дона	Курилмадан чиққандаги оғирлиги, гр	15 кундан кейинги оғирлиги, гр	Қайта ишлаш жараёнидаги ҳарорат, °С	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт, мин	ИҚ билан паддон орасидаги масофа, см
1	Тирик пилла	50.4	23	46.5	30.3	55	120	20
2	Тирик пилла	49.7	23	45.3	29.7	60	120	20
3	Тирик пилла	50.2	23	44.8	29.2	65	120	20
4	Тирик пилла	49.3	23	44.2	29.0	70	120	20
5	Тирик пилла	49.8	23	43.8	28.5	75	120	20
6	Тирик пилла	50.3	23	43.1	28.1	80	120	20

Олиб борилган тажриба синов ишлари натижасига кўра 1-9 жадвалларда келтирилган маълумотларга асосан тирик пиллани қайта ишлаш учун оптимал харорат  $65-70^{\circ}\text{C}$ , инфрақизил нур тарқатувчи трубка ва маҳсулот оралиғидаги оптимал оралиқ масофа 10-15 см, тирик пиллани қайта ишлаш учун оптимал вақт 90 минутни ташкил этди.

10-18 жадвалларда келтирилган маълумотларга асосан тирик пиллаларни қайта ишлаш учун оптимал харорат  $70-75^{\circ}\text{C}$ , инфрақизил нур тарқатувчи трубка ва маҳсулот оралиғидаги оптимал оралиқ масофа 10-15 см, тирик пиллани қайта ишлаш учун оптимал вақт 120 минутни ташкил этди.

### Имзо кўювчилар:

ТошДТУ томонидан



т.ф.д. Сафаров Ж.Э.



доц. Султанова Ш.А.



Дадаев Ф.Т.



Зулпанов Ш.Ў.



Эркинов Д.Д.

Ипакчилик илмий тадқиқот  
институты томонидан



Арипов С.З.



Жабборов Х.

«ТАСДИҚЛАЙМАН»

«КЕЛИШИЛДИ»

Тошкент давлат техника университети  
 илмий ишлар ва инновациялар бўйича  
 проректори



Курбонов М.Ш.

Ипакчилик илмий-тадқиқот  
 институти директори



Валиев С.Т.

### ТАЖРИБА-СИНОВ ДАЛОЛАТНОМАСИ

Биз қўйида имзо қўювчилар, Ф-А-2018-029–сонли «Ипак курти гўмбагини жонсизлантириш ва қуришиш учун техника ва технология ишлаб чиқиш» мавзусидаги амалий лойиҳа иштирокчилари, Ислоҳ Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети томонидан лойиҳа раҳбари, етакчи илмий ходим, т.ф.д. Ж.Э.Сафаров, катта илмий ходим, доц. Ш.А.Султанова, катта илмий ходим Ғ.Т.Дадаев, кичик илмий ходим Ш.Ў.Зулпанов, техник Д.Д.Эркиновлар ҳамда Ипакчилик илмий тадқиқот институти томонидан катта илмий ходим С.З.Арипов, катта илмий ходим Х.Жабборовлар тирик пилланинг баҳорда боқилган «Ипакчи-1» дурагай навини жонсизлантириш ва қуришиш бўйича тажриба-синов ишлари олиб боришди. Олиб борилган тажриба-синов ишлари натижасида қўйидаги маълумотлар олинди.

1-жадвал

№1. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 50-55 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дон	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	116.2	100	110.4	79.0	5
2	Тирик пилла	113.9	100	107.1	77.5	5
3	Тирик пилла	108.9	100	101.6	74.1	5
4	Тирик пилла	115.8	100	110.5	78.7	5
5	Тирик пилла	112.5	100	106.0	76.5	5

2-жадвал

№1. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 50-55 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дон	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	109.5	100	103.2	74.5	15
2	Тирик пилла	115.6	100	109.6	80.9	15
3	Тирик пилла	112.3	100	106.5	77.5	15
4	Тирик пилла	110.0	100	104.1	73.7	15
5	Тирик пилла	116.4	100	110.7	82.6	15

№1. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 50-55 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралигидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	117.2	100	109.4	79.7	30
2	Тирик пилла	112.8	100	104.9	79.0	30
3	Тирик пилла	116.5	100	108.2	80.4	30
4	Тирик пилла	109.6	100	101.6	73.4	30
5	Тирик пилла	111.0	100	104.0	78.8	30

№1. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 50-55 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралигидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	110.6	100	102.3	75.2	60
2	Тирик пилла	118.4	100	110.2	82.9	60
3	Тирик пилла	107.9	100	98.6	74.5	60
4	Тирик пилла	115.4	100	107.5	77.3	60
5	Тирик пилла	111.0	100	103.3	78.8	60

№1. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 50-55 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралигидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	109.6	100	99.4	74.5	90
2	Тирик пилла	116.0	100	107.5	81.2	90
3	Тирик пилла	110.2	100	101.2	76.0	90
4	Тирик пилла	112.7	100	103.2	75.5	90
5	Тирик пилла	117.1	100	107.3	83.1	90

№1. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 50-55 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	118.0	100	107.2	80.2	120
2	Тирик пилла	110.6	100	99.2	77.4	120
3	Тирик пилла	112.7	100	102.4	77.8	120
4	Тирик пилла	117.5	100	107.0	78.7	120
5	Тирик пилла	108.4	100	98.5	77.0	120

№1. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 50-55 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	117.9	100	105.7	80.2	150
2	Тирик пилла	108.0	100	96.2	75.6	150
3	Тирик пилла	112.2	100	100.3	77.4	150
4	Тирик пилла	116.4	100	104.4	78.0	150
5	Тирик пилла	113.6	100	101.3	80.7	150

№2. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 60-65 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	116.6	100	111.0	79.3	5
2	Тирик пилла	110.4	100	104.5	77.3	5
3	Тирик пилла	117.2	100	111.9	80.9	5
4	Тирик пилла	108.1	100	101.7	72.4	5
5	Тирик пилла	114.7	100	108.6	81.4	5

№2. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 60-65 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	118.6	100	107.7	80.6	15
2	Тирик пилла	110.5	100	103.4	77.4	15
3	Тирик пилла	116.8	100	109.8	80.6	15
4	Тирик пилла	112.3	100	105.9	75.2	15
5	Тирик пилла	115.7	100	108.5	82.1	15

№2. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 60-65 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	115.5	100	107.4	78.5	30
2	Тирик пилла	117.2	100	110.5	82.0	30
3	Тирик пилла	114.3	100	108.0	78.9	30
4	Тирик пилла	112.2	100	105.2	75.2	30
5	Тирик пилла	108.7	100	102.1	77.2	30

№2. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 60-65 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	117.8	100	108.2	80.1	60
2	Тирик пилла	110.6	100	101.3	77.4	60
3	Тирик пилла	114.2	100	105.4	78.8	60
4	Тирик пилла	107.0	100	98.7	71.7	60
5	Тирик пилла	116.4	100	107.5	82.6	60

№2. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 60-65 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	114.7	100	103.5	78.0	90
2	Тирик пилла	117.2	100	106.0	82.0	90
3	Тирик пилла	108.3	100	97.5	74.7	90
4	Тирик пилла	116.0	100	105.4	77.7	90
5	Тирик пилла	110.6	100	98.8	78.5	90

№2. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 60-65 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	118.2	100	106.4	80.4	120
2	Тирик пилла	115.7	100	103.7	81.0	120
3	Тирик пилла	109.6	100	97.7	75.6	120
4	Тирик пилла	117.2	100	105.2	78.5	120
5	Тирик пилла	112.8	100	100.8	80.1	120

№2. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 60-65 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	115.2	100	100.5	79.5	150
2	Тирик пилла	106.5	100	90.8	74.6	150
3	Тирик пилла	118.7	100	103.4	79.5	150
4	Тирик пилла	113.5	100	97.2	81.7	150
5	Тирик пилла	109.3	100	94.8	74.3	150

№3. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 70-75 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралигидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	108.6	100	102.0	74.9	5
2	Тирик пилла	115.4	100	108.2	80.8	5
3	Тирик пилла	111.2	100	107.9	74.5	5
4	Тирик пилла	105.1	100	97.7	75.7	5
5	Тирик пилла	114.2	100	107.2	77.7	5

№3. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 70-75 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралигидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	110.2	100	98.5	76.0	15
2	Тирик пилла	118.5	100	110.5	83.0	15
3	Тирик пилла	112.2	100	104.0	75.2	15
4	Тирик пилла	105.0	100	97.5	75.6	15
5	Тирик пилла	115.4	100	107.2	78.5	15

№3. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 70-75 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралигидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	105.0	100	96.2	72.5	30
2	Тирик пилла	117.4	100	109.0	82.2	30
3	Тирик пилла	114.5	100	107.8	76.7	30
4	Тирик пилла	108.7	100	100.1	78.3	30
5	Тирик пилла	112.2	100	105.2	76.3	30

№3. Тирик пилларни қайта ишлашда 70-75 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	110.8	100	100.2	76.5	60
2	Тирик пилла	119.6	100	109.5	83.7	60
3	Тирик пилла	107.0	100	97.5	71.7	60
4	Тирик пилла	114.8	100	105.2	82.7	60
5	Тирик пилла	116.2	100	107.7	79.0	60

№3. Тирик пилларни қайта ишлашда 70-75 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	104.2	100	92.2	71.9	90
2	Тирик пилла	118.2	100	105.5	82.7	90
3	Тирик пилла	110.3	100	97.4	73.9	90
4	Тирик пилла	115.0	100	102.2	82.8	90
5	Тирик пилла	108.6	100	95.8	73.8	90

№3. Тирик пилларни қайта ишлашда 70-75 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	108.5	100	95.6	74.9	120
2	Тирик пилла	115.2	100	102.7	80.6	120
3	Тирик пилла	110.2	100	97.0	73.8	120
4	Тирик пилла	117.5	100	104.7	84.6	120
5	Тирик пилла	112.8	100	98.5	76.7	120

№3. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 70-75 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	118.2	100	102.5	81.6	150
2	Тирик пилла	110.5	100	94.2	77.4	150
3	Тирик пилла	115.0	100	99.2	77.1	150
4	Тирик пилла	112.6	100	96.8	81.1	150
5	Тирик пилла	109.5	100	93.5	74.5	150

№4. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 80-85 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	110.5	100	103.0	76.2	5
2	Тирик пилла	107.4	100	101.5	75.2	5
3	Тирик пилла	111.4	100	106.0	74.6	5
4	Тирик пилла	115.0	100	106.3	82.8	5
5	Тирик пилла	114.4	100	107.8	77.8	5

№4. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 80-85 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	118.0	100	109.2	81.4	15
2	Тирик пилла	115.5	100	106.5	80.9	15
3	Тирик пилла	107.5	100	98.0	79.6	15
4	Тирик пилла	105.2	100	96.7	75.7	15
5	Тирик пилла	112.0	100	103.5	76.2	15

№4. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 80-85 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	115.5	100	105.7	79.7	30
2	Тирик пилла	107.2	100	97.0	75.0	30
3	Тирик пилла	114.5	100	107.8	84.7	30
4	Тирик пилла	112.0	100	104.6	80.6	30
5	Тирик пилла	108.5	100	99.8	73.8	30

№4. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 80-85 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	116.5	100	106.2	80.4	60
2	Тирик пилла	107.4	100	96.6	75.2	60
3	Тирик пилла	119.0	100	108.4	88.1	60
4	Тирик пилла	114.2	100	104.0	82.2	60
5	Тирик пилла	110.7	100	98.8	75.3	60

№4. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 80-85 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	110.8	100	96.0	76.5	90
2	Тирик пилла	115.0	100	101.6	80.5	90
3	Тирик пилла	104.4	100	91.4	77.3	90
4	Тирик пилла	108.6	100	94.5	78.2	90
5	Тирик пилла	118.5	100	104.2	80.6	90

№4. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 80-85 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	112.5	100	97.4	77.6	120
2	Тирик пилла	108.3	100	94.3	75.8	120
3	Тирик пилла	117.2	100	103.2	86.7	120
4	Тирик пилла	115.6	100	101.1	83.2	120
5	Тирик пилла	110.4	100	96.8	75.1	120

№4. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 80-85 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	106.4	100	89.2	73.4	150
2	Тирик пилла	110.2	100	93.5	77.1	150
3	Тирик пилла	117.0	100	101.4	86.6	150
4	Тирик пилла	108.5	100	91.2	78.1	150
5	Тирик пилла	112.5	100	93.7	76.5	150

№5. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 90-95 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	115.4	100	105.6	79.6	5
2	Тирик пилла	114.3	100	106.2	80.0	5
3	Тирик пилла	110.7	100	102.4	81.9	5
4	Тирик пилла	107.5	100	100.8	77.4	5
5	Тирик пилла	111.2	100	105.3	75.6	5

№5. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 90-95 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	112.2	100	102.3	77.4	15
2	Тирик пилла	118.7	100	108.5	83.1	15
3	Тирик пилла	105.4	100	95.4	78.0	15
4	Тирик пилла	115.6	100	105.0	83.2	15
5	Тирик пилла	107.3	100	97.2	73.0	15

№5. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 90-95 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	107.5	100	96.3	74.2	30
2	Тирик пилла	112.3	100	102.5	78.6	30
3	Тирик пилла	115.2	100	104.0	85.2	30
4	Тирик пилла	108.8	100	97.4	78.3	30
5	Тирик пилла	114.0	100	105.2	77.5	30

№5. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 90-95 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	114.3	100	102.4	78.9	60
2	Тирик пилла	110.1	100	97.6	77.1	60
3	Тирик пилла	116.8	100	105.0	86.4	60
4	Тирик пилла	107.2	100	94.8	77.2	60
5	Тирик пилла	119.6	100	106.2	81.3	60

№5. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 90-95 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	115.8	100	100.5	79.9	90
2	Тирик пилла	104.6	100	89.3	73.2	90
3	Тирик пилла	118.4	100	103.7	87.6	90
4	Тирик пилла	110.5	100	95.4	79.6	90
5	Тирик пилла	108.3	100	93.2	73.6	90

№5. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 90-95 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	108.2	100	92.2	74.7	120
2	Тирик пилла	110.6	100	95.4	77.4	120
3	Тирик пилла	115.2	100	98.3	85.2	120
4	Тирик пилла	112.8	100	96.5	81.2	120
5	Тирик пилла	117.0	100	102.1	79.6	120

№5. Тирик пиллаларни қайта ишлашда 90-95 °С ҳарорат остида инфрақизил нур ёрдамида. маҳсулот ва ИҚ нур оралиғидаги масофа 10 см бўлгандаги ҳолат бўйича тажриба синов натижалари

№	Маҳсулот номи	Бошланғич оғирлиги. гр	Пилла сони. дона	Қурилмадан чиққандаги оғирлиги. гр	15 кундан кейинги оғирлиги. гр	Қайта ишлаш жараёнидаги вақт. мин
1	Тирик пилла	110.4	100	90.5	76.2	150
2	Тирик пилла	112.3	100	92.3	78.6	150
3	Тирик пилла	108.8	100	94.6	80.5	150
4	Тирик пилла	106.2	100	87.4	76.5	150
5	Тирик пилла	117.6	100	98.2	80.0	150

Ҳар бир параметрлар яъни ҳарорат ва вақтнинг ўзгариши бўйича 5 мартадан тажриба синов ишлари олиб борилди. Ўтказилган тажриба синов ишлари натижасига кўра 50-55 °С ҳарорат оралиғида қайта ишланган тирик пиллаларда 10 кун ўтгандан сўнг 25-30% қисмида моғор пайдо бўлди, 15-20% қисмидан капалак учиб чиқиши кузатилди. 85-95 °С ҳарорат оралиғида қайта ишланган тирик пиллаларнинг 10-15% қуртидан суюқлик чиқиши натижасида пилланинг сифати бузилди. 60-65 °С ҳарорат оралиғида қайта ишланган тирик пиллалар қурти 3-5 минутда 100% ўлиши ва сифатли қуриши аниқланди.

**Имзо қўювчилар:**

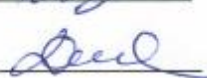
**ТошДТУ томонидан**


**Ипакчилик илмий тадқиқот институти  
томонидан**

т.ф.д. Сафаров Ж.Э. 

Арипов С.З. 

доц. Султанова Ш.А. 

Жабборов Х. 

Дадаев Ғ.Т. 

Зулпанов Ш.Ў. 

Эркинов Д.Д. 

Ўзбекистон Республикаси  
Қишлоқ ва сув ҳўжалиги вазирлиги  
Ўзбекистон Қишлоқ ҳўжалик илмий  
ишлаб чиқариш Маркази  
Ипакчилик илмий-тадқиқот  
институтини  
**НИТИ**  
100055, Тошкент ш., Шайхонтохур  
тумани, Ипакчи кўчаси, 1-уй



Тел. +9 (9871) 2498356  
Факс. +9(9871) 2498213  
e- mail: ipakiti@qsxv.uz

Министерство сельского и водного  
хозяйства Республики Узбекистан  
Узбекский научно-производственный  
Центр сельского хозяйства  
Научно-исследовательский институт  
шелководства  
**НИИШ**  
100055, г. Ташкент, Шайхантахурской  
район, ул. Ипакчи, дом 1

Р/С: 23402000300100001010 в РКЦ Глав. Упр. Центр Банка РУз, л/с  
400110860262627950100190001,  
в ОПЕРУ казначейства МФ РУз, МФО 00014

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор НИИШ

*С.Т.Валиев*  
С.Т.Валиев

Протокол результатов исследований анализа переработанных образцов  
коконов тутового шелкопряда

1	Наименование продукта	переработанные коконы тутового шелкопряда
2	Производитель продукта	Ташкентский государственный технический университет
3	Место отбора проб	Лаборатория Ташкентского государственного технического университета
4	Количество образцов	7
5	Цель проведения испытания	Определение качества продукции
6	Исполнитель работы	Арипов С.

**Результаты лабораторных экспериментов по первичной переработки коконов тутового шелкопряда дурагайного сорта «Ипакчи-1» выращенных весной**

Таблица 1.

Результат сортировки образцов коконов тутового шелкопряда

Номер образца	Сортовые и дефектные коконы, %								
	Сортовые	Рубцовые	Атласные	Пятнистые	Остро конечные	Тонко полусные	Тонко стенные	Двойник	Прочие
1	18,48	5,43	4,35	14,13	4,35	42,39	10,87	1,11	-
2	50,26	4,32	5,56	8,62	-	18,56	11,9	-	-
3	10,2	5,56	4,26	8,85	-	19,35	12,87	-	1,09
4	17,2	5,38	3,22	66,67	-	5,38	2,15	1,24	-
5	47,58	5,84	3,11	41,11	-	20,32	14,53	-	-
6	26,09	7,61	1,08	46,74	4,44	20	10,87	1,09	1,09
7	50,85	4,95	5,64	6,86	-	5,43	7,22	-	-

Таблица 2.

Результаты калибровки образцов коконов тутового шелкопряда

Номер образца	Калибр коконов, %			
	Мелкий (14-15 мм)	Средний (16-19мм)	Крупный (20-22 мм)	Крупный от крупный (23 мм и выше)
1	-	-	23,53	76,47
2	-	-	70,83	29,17
3	-	4,16	58,70	37,14
4	-	4,35	43,75	51,9
5	-	-	65,22	34,78
6	-	8,70	70,05	21,25
7	-	-	88,89	11,11

Таблица 3.

Масса и шелконосность образцов коконов тутового шелкопряда

Номер образца	Масса кокона, среднее значение, г	Шелконосность, среднее значение, %
1	0,981	46,99
2	0,942	49,04
3	1,006	46,52
4	0,948	49,16
5	0,936	50,32
6	0,939	49,73
7	1,002	50,88

Таблица 4.

Линейная плотность коконной нити образцов коконов тутового шелкопряда

Номер образца	Текс, среднее значение	№ метрический, среднее значение
1	0,277	3610
2	0,273	3663
3	0,285	3509
4	0,304	3289
5	0,284	3521
6	0,318	3145
7	0,261	3831

Таблица 5.

Напрерывноразматываемая и общая длина нити образцов коконов тутового шелкопряда

Номер образца	Одиночная размотка, среднее значение		Разматываемость коконной оболочки, %
	Непрерывно-разматываемая длина, м	Общая длина, м	
1	617	1417	43
2	837	1271	65
3	275	1329	20
4	612	1283	47
5	858	1350	63
6	692	1275	54
7	933	1025	91

Таблица 6.

Выход шелкопродуктов образцов коконов тутового шелкопряда

Номер образца	Выход продукции, %						Удельный расход
	Шелк-сырец	Коконный сдир	Оболочка одонка	Всего шелко-продуктов	Куколка	Растворимые вещества	
1	36,74	7,27	4,73	47,74	50,29	1,97	2,72
2	41,37	3,67	5,21	50,90	47,30	1,80	2,42
3	40,51	5,32	5,10	49,28	48,49	2,23	2,47
4	33,71	6,61	4,45	44,67	53,23	2,10	2,97
5	41,26	4,32	4,17	50,95	47,15	1,90	2,42
6	38,95	5,26	4,74	48,95	49,12	1,93	2,57
7	41,28	3,91	4,15	50,92	50,1	2,0	2,45

ELEKTRON HISOBLASH MASHINALARI UCHUN YARATILGAN  
DASTURNING RASMIY RO'YXATDAN O'TKAZILGANLIGI TO'G'RISIDAGI

# ГУВОHНОМА

СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ ОФИЦИАЛЬНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ  
ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ -ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

О'ZBEKISTON RESPUBLIKASI INTELLEKTUAL MULK AGENTLIGI  
АГЕНТСТВО ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

№ DGU 05819

Ushbu guvohnoma O'zbekiston Respublikasining «Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturlar va ma'lumotlar bazalarining huquqiy himoyasi to'g'risida»gi Qonuniga asosan quyidagi EHM uchun dasturga berildi:

Настоящее свидетельство выдано на основании Закона Республики Узбекистан «О правовой охране программ для электронно-вычислительных машин и баз данных» на следующую программу для ЭВМ:

Ипак курти ғумбагини жонсизлантириш ва куриштиш технологияси математик моделининг дастурий таъминоти  
Программное обеспечение математических моделей технологии морки и сушки коконов тутового шелкопряда

Talabnoma kelib tushgan sana: **14.09.2018**  
Дата поступления заявки:

Talabnoma raqami: **DGU 2018 0701**  
Номер заявки:

Huquq egasi(egalari): **Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети, UZ**  
Правообладатель(и): **Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, UZ**

Dastur muallif(lar)i: **Сафаров Жасур Эсиргапович, Султанова Шахноза Абдувахитовна, Дадаев Гани Тошходжаевич, UZ**  
Автор(ы):  
программы

O'zbekiston Respublikasi elektron hisoblash mashinalari uchun dasturlar davlat reestrída 05.12.2018 yilda Toshkent shahrida ro'yxatdan o'tkazilgan.

Зарегистрирован в государственном реестре программ для электронно-вычислительных машин Республики Узбекистан, в г. Ташкенте, 05.12.2018 г.

Bosh direktor  
Генеральный директор

  
А. Файзуллаев



**ELEKTRON HISOBLASH MASHINALARI UCHUN YARATILGAN  
DASTURNING RASMIY RO'YXATDAN O'TKAZILGANLIGI TO'G'RISIDAGI  
GUVOHNOMA  
СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ ОФИЦИАЛЬНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ  
ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ –ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI ADLIYA VAZIRLIGI HUZURIDAGI  
INTELLEKTUAL MULK AGENTLIGI  
АГЕНТСТВО ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
ПРИ МИНИСТЕРСТВЕ ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**№ DGU 06931**

Ushbu guvohnoma O'zbekiston Respublikasining «Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturlar va ma'lumotlar bazalarining huquqiy himoyasi to'g'risida»gi Qonuniga asosan quyidagi EHM uchun dasturga berildi:

Настоящее свидетельство выдано на основании Закона Республики Узбекистан «О правовой охране программ для электронно-вычислительных машин и баз данных» на следующую программу для ЭВМ:

**Тирик пиллани дастлабки қайта ишлаш математик моделининг дастурий таъминоти  
Программное обеспечение математической модели предварительной переработки  
живого шелкопряда**

Talabnoma kelib tushgan sana: **27.06.2019** Talabnoma raqami: **DGU 2019 0886**  
Дата поступления заявки: Номер заявки:

Huquq egasi(egalari): **Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети, UZ**  
Правообладатель(и): **Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, UZ**

Dastur muallif(lar)i: **Сафаров Жасур Эсиргапович, Султанова Шахноза Абдувахитовна,**  
Автор(ы): **Самандаров Достон Ишмухаммат ўғли, UZ**  
программы

O'zbekiston Respublikasi elektron hisoblash mashinalari uchun dasturlar davlat reestrda 23.09.2019 yilda Toshkent shahrida ro'yxatdan o'tkazilgan.

Зарегистрирован в государственном реестре программ для электронно-вычислительных машин Республики Узбекистан, в г. Ташкенте, 23.09.2019 г.

**Директор  
Директор**

  
**Т. Абдусаттаров**  
 **INTELLEKTUAL  
MULK AGENTLIGI**

FM-01-шакл

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛ МУЛК АГЕНТЛИГИ  
АГЕНТСТВО ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

100000, Тошкент ш., Мустакиллик шох кўчаси, 59  
100000, г. Ташкент, пр. Мустакиллик, 59  
www.ima.uz

Тел.: (99871) 232-50-50  
Факс: (99871) 232-50-05  
E-mail: info@ima.uz

От 30.07.2019 дан  (74) Манзил: ТГТУ, Отдел ИС, д. 2, ул.  
Исх. № (98) Адрес: Университетская, г. Ташкент, 100095

**БИЛДИРИШ ХАТИ  
УВЕДОМЛЕНИЕ**

Талабноманинг кайд раками: **FAP 2019 0149**  
Регистрационный номер заявки:  
Куриш коди : **FAP24813**  
Код отслеживания:  
Хужжатлар келиб тушган сана: **30.07.2019**  
Дата поступления документов:

Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги фойдали моделга патент бериш учун талабнома келиб тушганлиги хақида маълум қилади.  
Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан уведомляет о поступлении заявки на выдачу патента на полезную модель.

(фойдали моделнинг номи)

Устройство для морки и сушки коконов

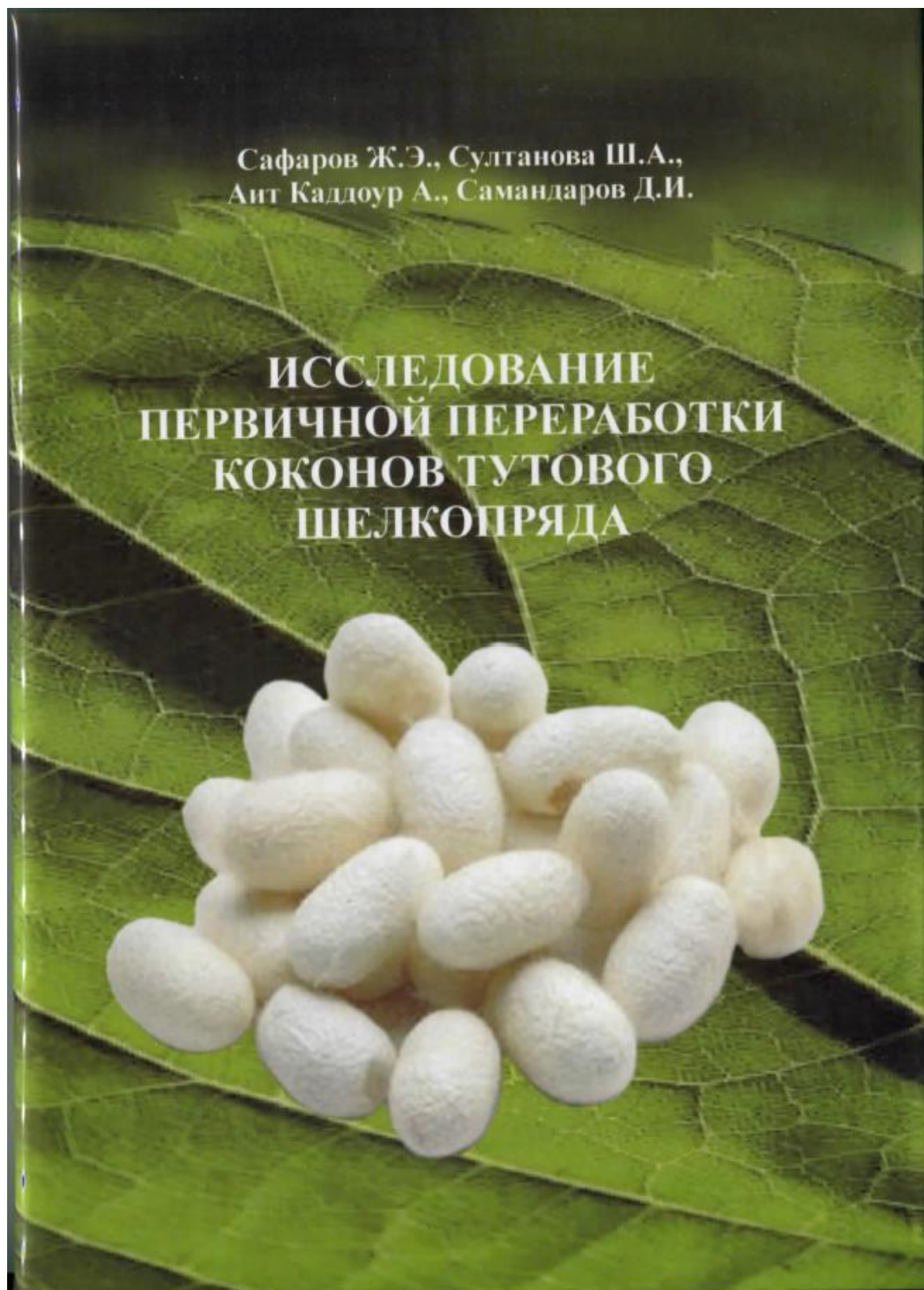
(название полезной модели)

<input checked="" type="checkbox"/>	ариза / заявление ___1___ варак/листов ___3___ нусха/экз.
<input checked="" type="checkbox"/>	фойдали модель тавсифи описание полезной модели ___6___ варак/листов 3 нусха/экз.
<input checked="" type="checkbox"/>	фойдали модель формуласи формула полезной модели ___1___ варак/листов 3 нусха/экз.
<input checked="" type="checkbox"/>	чизмалар чертежи ___3___ варак/листов 3 нусха/экз.
<input checked="" type="checkbox"/>	реферат ___1___ варак/листов 3 нусха/экз.
Талабномага куйидаги хужжатлар илова қилинган / к заявке приложен(ы) документ(ы):	
<input checked="" type="checkbox"/>	патент божни тўлангани хақидаги / об уплате патентной пошлины;
<input type="checkbox"/>	патент божини тўлашдан озод этишни тасдиқлаш хақидаги; подтверждающий право на освобождение от уплаты патентных пошлин;
<input type="checkbox"/>	вакилнинг, патент вакилининг ваколатларини тасдиқлайдиган ишончнома; доверенность, удостоверяющая полномочия представителя, патентного поверенного;

Специалист

Н.А. Якубова





ОКП \_\_\_\_\_  
Группа \_\_\_\_\_

УДК \_\_\_\_\_  
ОКС \_\_\_\_\_

**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ  
ООО «FENIKS - TORB»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор  
ООО «FENIKS TORB»



Т.М.Байметов  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

«СОГЛАСОВАНО»

Проректор  
ТашГТУ



\_\_\_\_\_ 2019 г.

**КОНВЕЙЕРНАЯ ИНФРАКРАСНАЯ СУШИЛЬНАЯ  
УСТАНОВКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРУГИХ ВОЛН ДЛЯ  
СУШКИ И МОРКИ КОКОНОВ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА**


Технические условия

Ts 26985714 - 01 - 2019  
(вводятся в первые)  
(Литера А)

Дата введения с «15» 10 2019 г.  
Срок действия до «15» 10 2024 г.

«РАЗРАБОТАНО»

  
д.т.н. Ж.Э.Сафаров  
«12» 10 2019 г.

  
доц. Ш.А.Султанова  
«12» 10 2019 г.

  
Д.И.Самандаров  
«12» 10 2019 г.

ТАШКЕНТ 2019

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор

ООО «FENIKS TORB»



Р.М.Байметов

10 2019 г.

«СОГЛАСОВАНО»

Проректор

ТашГТУ



10 2019 г.

**КОНВЕЙЕРНАЯ ИНФРАКРАСНАЯ СУШИЛЬНАЯ УСТАНОВКА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРУГИХ ВОЛН ДЛЯ СУШКИ И  
МОРКИ КОКОНОВ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА**

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ**

26 98 57 14 - 03 - 2019 ТЗ

«РАЗРАБОТАНО»

д.т.н. Ж.Э.Сафаров

«12» 10 2019 г.

доц. Ш.А.Султанова

«17» 10 2019 г.

Д.И.Самандаров

«17» 10 2019 г.

Ташкент – 2019

Инов. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Подп. и дата
Инв. № дубликата	Подп. и дата



**КЕЛИШИЛГАН**  
ТошДТУ илмий ишлари бўйича  
проректори  
**Б.Х.Мирзахмедов**  
“21” 06 / 2018 й.

Давлат бюджети ҳисобидан молиялаштирилган, 2018-2020 йилларга мўлжалланган Ф-А-2018-029–сонли «Ипак курти ғумбагини жонсизлантириш ва қуришти учун техника ва технология ишлаб чиқиш» мавзусидаги амалий лойиҳа доирасида амалга оширилган амалий ишларни ва олинган натижаларни 5320300 – Технологик машиналар ва жиҳозлар (озиқ-овқат саноати) бакалаврият таълим йўналишининг ўқув жараёнига тадбиқ этиш бўйича

**ДАЛОЛАТНОМА**

ТошДТУ Илмий тадқиқот қисми бошлиғи т.ф.н. Б.А.Кушимов, Ўқув услубий бошқарма бошлиғи Б.Боймирзаев, Машинасозлик факультети декани, лойиҳа раҳбари т.ф.д. Ж.Э.Сафаров, ИТК раиси проф. Қ.Х.Махкамов, Илмий-услубий кенгаш раиси проф. Б.Тулаев, кафедра мудири т.ф.н. Қ.Қ.Мирзаевлар қуйидаги далолатномани туздик. Ушбу далолатнома шу ҳақдаки:

Ф-А-2018-029–сонли «Ипак курти ғумбагини жонсизлантириш ва қуришти учун техника ва технология ишлаб чиқиш» мавзусидаги амалий лойиҳа доирасида амалга оширилган амалий ишларни ва олинган натижаларни 5320300 – Технологик машиналар ва жиҳозлар (озиқ-овқат саноати) бакалаврият таълим йўналиши ишчи ўқув режасининг “Ихтисослик фанлар” блокнинг 5-6-семестрлардаги “Асосий технологик жараён ва қурилмалар” курсига 2 соат маъруза, 2 соат лаборатория ва 2 соат амалий иш сифатида ўқитиш жараёнига жорий этилди. Натижада:

- ипак курти ғумбагини сифатли қайта ишлашда энергия тежамкор қуришти қурилмасидан фойдаланишнинг афзалликлари ўрганилди;
- энергия тежамкор қуришти қурилмасининг назарий ҳисоблари ўрганилди;
- қуришти қурилмасида тажриба синови ишлари олиб борилди ва тажриба натижалари таҳлил қилинди.

Илмий тадқиқот қисми бошлиғи		т.ф.н. Б.А.Кушимов
Ўқув услубий бошқарма бошлиғи		доц. Б.Боймирзаев
Декан, лойиҳа раҳбари		т.ф.д. Ж.Э.Сафаров
Илмий техник кенгаш раиси		проф. Қ.Х.Махкамов
Илмий-услубий кенгаш раиси		проф. Б.Тулаев
Кафедра мудири		т.ф.н. Қ.Қ.Мирзаев

**ТАСДИҚЛАЙМАН**  
 ТошДТУ Ўқув ишлари бўйича  
 проректори  
  
**проф. О.О.Зарипов**  
 06 2019 й.



**КЕЛИШИЛГАН**  
 ТошДТУ Илмий ишлари ва  
 инновациялар бўйича  
 проректори  
  
**проф. М.Ш.Курбов**  
 “20” 06 2019 й.



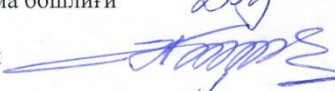




Давлат бюджети ҳисобидан молиялаштирилган, 2018-2020 йилларга мўлжалланган Ф-А-2018-029–сонли «Ипак қурти ғумбагини жонсизлантириш ва қуритиш учун техника ва технология ишлаб чиқиш» мавзусидаги амалий лойиҳа доирасида амалга оширилган амалий ишларни ва олинган натижаларни 5320300 – Технологик машиналар ва жиҳозлар (озик-овқат саноати) бакалаврият таълим йўналишининг ўқув жараёнига тадбиқ этиш бўйича

### ДАЛОЛАТНОМА

ТошДТУ Илмий тадқиқот қисми бошлиғи т.ф.д.,доц. К.С.Аюпов, Ўқув услубий бошқарма бошлиғи Б.Боймирзаев, Машинасозлик факультети декани, лойиҳа раҳбари т.ф.д. Ж.Э.Сафаров, ИТК раиси проф. Қ.Х.Махкамов, Илмий-услубий кенгаш раиси доц.Ш.Т.Раутов, кафедра мудири PhD., доц. Ш.А.Султанова ва тадқиқотчи Д.И.Самандаровлар қуйидаги далолатномани туздик. Ушбу далолатнома шу ҳақдаки:

Ф-А-2018-029–сонли «Ипак қурти ғумбагини жонсизлантириш ва қуритиш учун техника ва технология ишлаб чиқиш» мавзусидаги амалий лойиҳа доирасида амалга оширилган амалий ишларни ва олинган натижаларни 5320300 – Технологик машиналар ва жиҳозлар (озик-овқат саноати) бакалаврият таълим йўналиши ишчи ўқув режасининг “Ихтисослик фанлар” блокнинг 5-6-семестрлардаги “Асосий технологик жараён ва қурилмалар” курсига 2 соат маъруза, 2 соат лаборатория ва 2 соат амалий иш сифатида ўқитиш жараёнига жорий этилди. Натижада:

- тақлиф этилаётган энергия тежамкор, паст ҳароратда ишлайдиган қурилма ҳисоблари тайёрланди;
- эластик тўлқин ҳосил қилишда титратиш (вибрация) орқали инфрақизил нур ёрдамида ишлайдиган қурилманинг чизмалари тайёрланди;
- қурилманинг энергия самандорлигини оширишга қаратилган ишлар амалга оширилди;
- юқори сифатли маҳсулот олиш мақсадида энергия тежамкор ва паст ҳароратда ишловчи қурилмани техник топшириғи ишлаб чиқилди ва уни ясашга тайёрланди.

Илмий тадқиқот қисми бошлиғи		т.ф.д., доц. К.С.Аюпов
Ўқув услубий бошқарма бошлиғи		доц. Б.Боймирзаев
Декан, лойиҳа раҳбари		т.ф.д. Ж.Э.Сафаров
Илмий техник кенгаш раиси		проф. Қ.Х.Махкамов
Илмий-услубий кенгаш раиси		доц. Ш.Т.Раутов
Кафедра мудири		PhD, доц. Ш.А.Султанова
Тадқиқотчи		Д.И.Самандаров



Общей вид лабораторный сушильный установка



Двигатель для вибрации



Поддон для сырье



Процесс лабораторный эксперимент



Установка для первичной обработки коконов тутового шелкопряда

# **ЧАСТЬ 2**



Ўзбекистон Республикаси  
Инновацион ривожланиш  
вазирлиги



Илмий ишланмаларни тижоратлаштириш форумида

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

*"Ипак қурти ғумбагини сифатли жонсизлантириш ва қуришиш  
учун инфрақизил нур ва вибрацияли қурилмани саноат-тажриба  
намунаси ясаш" лойиҳаси*

**СЕРТИФИКАТ**

билан тақдирланади

**25 – 26 февраль**  
2021 йил

Инновацион  
ривожланиш вазири

**И.Ю. Абдурахмонов**



*И.Ю. Абдурахмонов*

Ўзбекистон республикаси  
Инновацион ривожланиш  
вазирлиги



Ислом Каримов номидаги  
Тошкент давлат техника  
университети

Лойиҳа мавзуси:

T-OT-2021-169. «Ипак қурти ғумбагини сифатли жонсизлантириш ва қуритиш учун инфрақизил нур ва вибрацияли қурилмани саноат-тажриба намунаси яшаш»

## ЛОЙИҲАНИНГ МАҚСАДИ

Ипак қурти ғумбагини сифатли жонсизлантириш  
ва қуритиш учун инфрақизил нур ва вибрацияли  
қурилмани саноат-тажриба намунаси яшаш

Активация Windows  
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

## ЛОЙИХАНИНГ БОСҚИЧЛАРИ



1-босқич. Ипак қурти ғумбагини жонсизлантириш ва қуритиш ҳамда юқори сифатли маҳсулот олиш мақсадида энергия тежамкор ва паст ҳароратда ишловчи қурилманинг техник топшириғини ишлаб чиқиш ва конструкторлик ишларни амалга ошириш.



2-босқич. Инфрақизил нур ва вибрация ёрдамида ипак қурти ғумбагини жонсизлантириш ва қуритиш учун энергия тежамкор ва паст ҳароратда ишловчи тажриба синов қурилмасини яшаш ишларини амалга ошириш. Техник шарт ва техник паспорт ишлаб чиқиш ва тасдиқлаш.



3-босқич. Саноат тажриба синов ишларини амалга ошириш. Технологик параметрларни аниқлаш. Синов натижасида қурилмада аниқланган камчиликларни бартараф этиш. Тайёр бўлган тажриба синов қурилмаси “Ўзбекипаксаноат” уюшмасига қарашли ишлаб чиқариш корхонасига жорий этиш. Далолатнома расмийлаштириш.



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор  
ТашГТУ

проф. Нематов Ш.К.



«31» 03 2021 г.

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОГО ОБРАЗЦА  
ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОЙ МОРКИ И СУШКИ КОКОНОВ  
ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА С ПОМОЩЬЮ ИНФРАКРАСНОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ И ВИБРАЦИИ**

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ**

10-32066 - 03 - 2021 ТЗ

«РАЗРАБОТАНО»

проф. Сафаров Ж.Э.

«31» 03 2021 г.

доц. Султанова Ш.А.

«31» 03 2021 г.

Зулпанов Ш.У.

«31» 03 2021 г.

Ташкент – 2021

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Инв. № дубликата
Подп. и дата	Подп. и дата

УТВЕРЖДАЮ  
ДИРЕКТОР ООО «THREE M GROUP»  
М.Ш.ЗИЯМУХАМЕДОВ



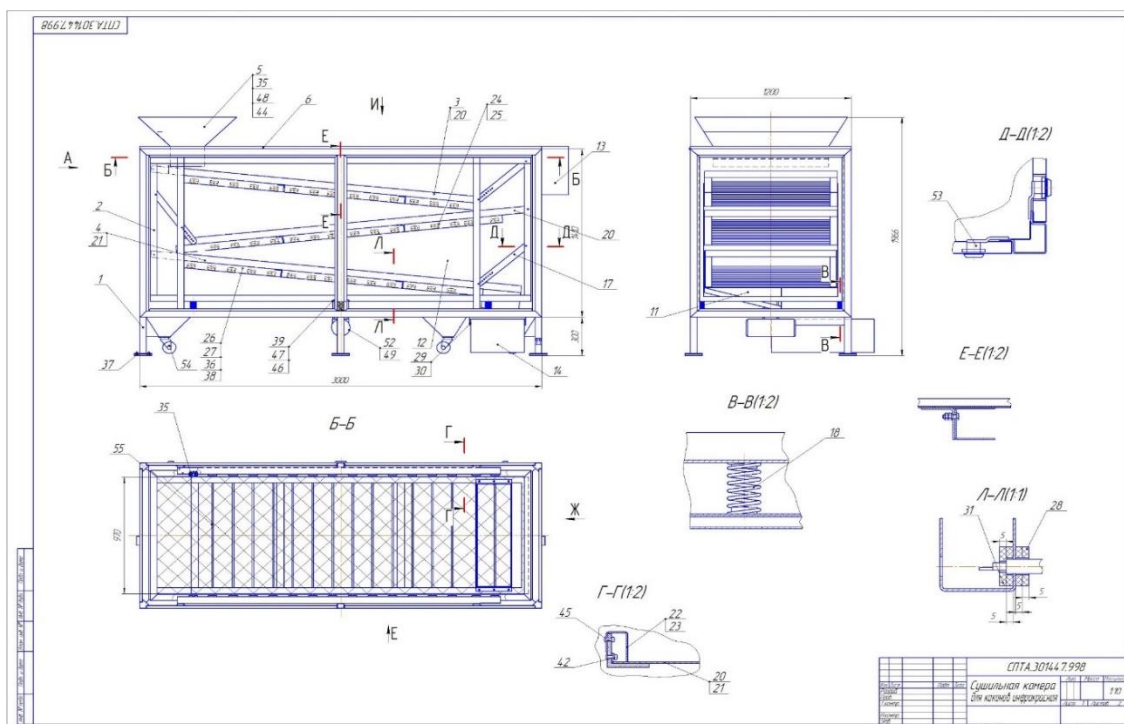
**КОНСТРУКТОРСКИЕ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО**  
“ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОГО  
ОБРАЗЦА ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОЙ МОРКИ И СУШКИ  
КОКОНОВ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА С ПОМОЩЬЮ  
ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ВИБРАЦИИ”

Руководитель проекта

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Ж.Э. Сафаров".

проф. Сафаров Ж.Э.

ТАШКЕНТ-2021



№	Кўрсаткичлар номи	Бирлиги
1	Тури	Стационар
2	Қайта ишлаш усули	Инфрақизил нур ва вибрация
3	Қайта ишлаш унумдорлиги, кг/соат	60-70
4	Қайта ишлаш вақти, дақиқа	20
5	Қайта ишлаш ҳарорати, °С	65÷75
6	Қурилма учун кучланиш манбаи, В	220
7	Қурилмани умумий қуввати, кВт/соат	8,2
8	Инфрақизил нурлатгичнинг 1 донасини қуввати, кВт/соат	0,2
9	Инфрақизил нурлатгичлар сони, дона	36
10	Вибраторнинг қуввати, кВт/соат	0,9
11	Умумий конвейр сетканинг узунлиги, м	7,65
12	Умумий конвейр сетканинг ишчи юзаси, м <sup>2</sup>	7,65
13	Қурилманинг габарит ўлчамлари:	
14	- узунлиги, м	3
15	- эни, м	1,2
16	- баландлиги, м	1,7
17	Конвейр сетканинг ўлчамлари:	
	- узунлиги, м	2,55
	- эни, м	1
	- баландлиги, м	0,05
18	Қурилманинг оғирлиги, кг	750
19	Оператор	1



- 10 марта охирги олинган маҳсулот нархи арзон
- 15 марта қайта ишлаш вақти қисқа
- 50% энергия тежамкор, мавжудларга нисбатан
- 1,22 марта ишлаб чиқариш ҳажми ортади
- 8% маҳсулотни исроф бўлиши камаяди
- 100% сифатли маҳсулот олинади

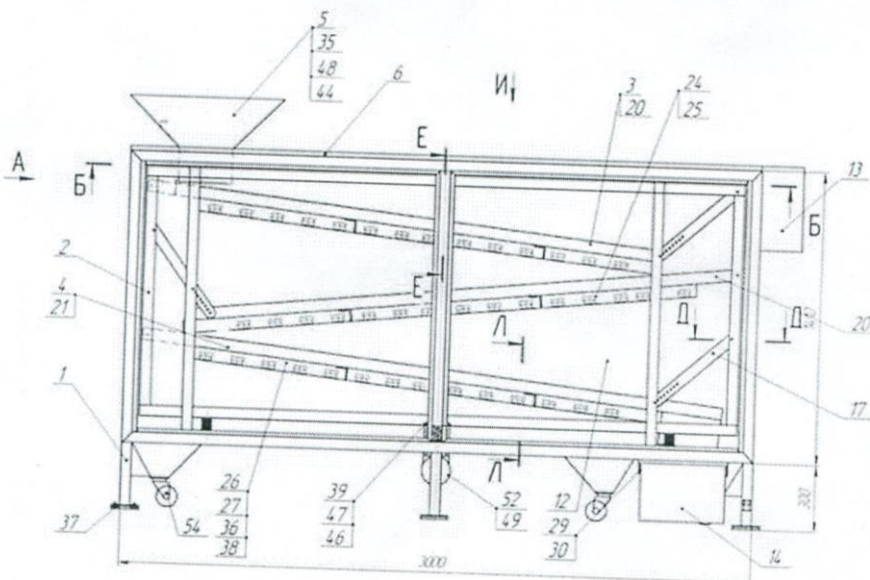
УТВЕРЖДАЮ  
ДИРЕКТОР ООО «THREE M GROUP»  
М.Ш.ЗИЯМУХАМЕДОВ



**ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОГО ОБРАЗЦА ДЛЯ  
КАЧЕСТВЕННОЙ МОРКИ И СУШКИ КОКОНОВ  
ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА С ПОМОЩЬЮ  
ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ВИБРАЦИИ**

**ИК-В-КС-21**

**ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ  
СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**



**«КЕЛИШИЛДИ»**  
 ТошДТУ илмий ишлар ва  
 инновациялар бўйича  
 проректори  
 проф. Нематов Ш.Қ.



12 2021 й.

**«ТАСДИҚЛАЙМАН»**  
 Тошкент вилояти,  
 Ўртачирчиқ тумани  
 “Агропилла” МЧЖ  
 Р.Умаров



12 2021 й.

**Курилмани топшириш-қабул қилиш  
 ДАЛОЛАТНОМАСИ**

Ўзбекистон Республикаси Инновацион ривожланиш вазирлиги ҳамда Тошкент давлат техника университети ўртасида 2021 йил 9 мартда тузилган 44/14 – сонли шартнома бўйича, биз, қуйида имзо қўювчилар, Илмий тадқиқот қисми бошлиғи доц. З.Н.Мухиддинов, Т-ОТ-2021-169 “Ипак курти ғумбагини сифатли жонсизлантириш ва қуритиш учун инфрақизил нур ва вибрацияли қурилмани саноат-тажриба намунаси ясаш” мавзусидаги лойиҳа раҳбари проф. Ж.Э.Сафаров, лойиҳа бажарувчилар т.ф.д. Ш.А.Султанова, Ш.Ў.Зулпонов, бош ҳисобчи ўринбосари И.Ярмухамедова, ҳисобчи К.Холмухамедова, моддий жавобгар Р.К.Хамроев, ва Тошкент вилояти, Ўртачирчиқ тумани, “Агропилла” МЧЖ томонидан директор Р.Умаров, ҳисобчи З.Баратова, технолог Р.Ахмедов, агроном Ж.Хошимбеков ва моддий жавобгар шахс О.Умаров ушбу далолатномани 2021 йилда бажарилган Т-ОТ-2021-169 “Ипак курти ғумбагини сифатли жонсизлантириш ва қуритиш учун инфрақизил нур ва вибрацияли қурилмани саноат-тажриба намунаси ясаш” мавзусидаги лойиҳа бўйича ясалган қурилмани топшириш-қабул қилиш далолатномасини туздик.

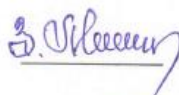
**ТошДТУ томонидан Тошкент вилояти, Ўртачирчиқ тумани,  
 “Агропилла” МЧЖга тақдим этилаётган қурилма**

№	Қурилма номи	Инв. рақами	Сони	Нархи (сум)	Умумий нархи (сум)
1	Изготовление опытно-промышленного образца для качественной морки и сушки коконов тутового шелкопряда с помощью инфракрасного	0130500603	1 комп.	248 000 000	248 000 000

	излучения и вибрации (Ипак қурти ғумбагини сифатли жонсизлангириш ва қуритиш учун инфрақизил нур ва вибрацияли қурилмани саноат-тажриба намунаси ясаш)				
--	---	--	--	--	--

**ТошДТУ томонидан  
топширилди:**

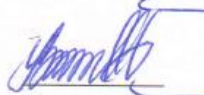
доц. Мухиддинов З.Н.



проф. Сафаров Ж.Э.



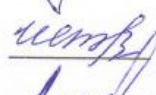
т.ф.д. Султанова Ш.А.



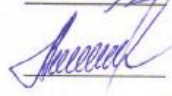
Зулпонов Ш.Ў.



Ярмухамедова И.

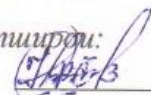


Холмухамедова К.



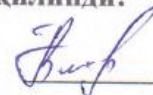
Моддий жавобгар шахс топширилди:

Хамроев Р.К.



**Тошкент вилояти, Ўртачирчик  
тумани, “Агропилла” МЧЖ  
томонидан қабул қилинди:**

Баратова З.



Ахмедов Р.

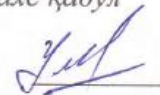


Хошимбеков Ж.



Моддий жавобгар шахс қабул  
қилди:

Умаров О.



«КЕЛИШИЛДИ»

Тошкент давлат техника  
университети илмий ишлар ва  
инновациялар бўйича  
проректори



проф. Нематов Ш.Қ.  
6.12.2021 й.

«ТАСДИҚЛАЙМАН»

Тошкент вилояти  
Ўртачирчиқ тумани  
«Агропилла» МЧЖ  
директори



Умаров Р.  
7.12.2021 й.

Тошкент давлат техника университети ва Тошкент вилояти Ўртачирчиқ  
тумани «Агропилла» МЧЖ билан ҳамкорликда тирик пиллани сифатли  
жонсизлантириш ва қуритиш бўйича олиб борган илмий-тадқиқот  
ишларининг

### САНОАТ ТАЖРИБА-СИНОВ ДАЛОЛАТНОМАСИ

Биз қуйида имзо қўювчилар, тирик пиллани сифатли жонсизлантириш ва қуритиш бўйича Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети томонидан бош илмий ходим, т.ф.д., проф. Ж.Э.Сафаров, етакчи илмий ходим, т.ф.д. Ш.А.Султанова, катта илмий ходим Ш.Ў.Зулпоновлар ҳамда Тошкент вилояти Ўртачирчиқ тумани «Агропилла» МЧЖ томонидан технолог Р.Ахмедов, ва агроном Ж.Хошимбековлар тирик пиллани жонсизлантириш ва қуритиш бўйича тажриба-синов ишлари олиб боришди.

Режалаштирилган тажриба асосида қуритиш жараёни учун ташқи омилларнинг (ИК тўлқинлар, ультратовуш) таъсири ўрганиб чиқилди. Тирик пиллани жонсизлантириш ва қуритиш бўйича ҳар бир параметрлар яъни ҳарорат ва вақтнинг ўзгариши бўйича синов ишлари олиб борилди. Олиб борилган тажриба-синов ишлари натижасида қуйидаги маълумотлар олинди.

Ўтказилган тажриба синов ишлари натижасига кўра 55-60 °С ҳарорат оралиғида қайта ишланган тирик пиллаларда 15 кун ўтгандан сўнг 25-30% қисмида моғор пайдо бўлди, 15-20% қисмидан капалак учиб чиқиши кузатилди. 75-80 °С ҳарорат оралиғида қайта ишланган тирик пиллаларнинг 10-15% қуртидан суюқлик чиқиши натижасида пилланинг сифати бузилди. 65-70 °С ҳарорат оралиғида, ультратовуш тўлқинлари таъсирида қайта ишланган тирик пилла қуртлари 8-10 дақиқада 100% ўлиши ва 38-40 °С хона ҳароратида 10 кун тургандан 10-12%гача сифатли қуриши аниқланди. Маҳсулот ва инфрақизил нур тарқатувчи трубка оптимал масофасини топиш бўйича олиб борилган тажриба натижалари кўра 10 см оптимал масофа эканлиги аниқланди.

**Имзо қўювчилар:**

**ТошДТУ  
томонидан**

**“Ўрғачирчиқ тумани Агропилла”  
МЧЖ томонидан**

проф. Сафаров Ж.Э.

Ахмедов Р.

т.ф.д. Султанова Ш.А.

Хошимбеков Ж.

Зулпонов Ш.Ў.

«СОГЛАСОВАНО»

Проректор по научным работам и  
инновациям ТашГТУ

проф. Ш.К.Нематов



» 12. 2021 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ООО «Агропилла»  
Уртачирчикского района

Ташкентской области

Умаров



» 12. 2021 г.

### АКТ ВНЕДРЕНИЯ

#### результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Настоящим актом подтверждается, что полученные результаты проекта №Т-ОТ-2021-169 «Изготовление опытно-промышленного образца для качественной морки и сушки коконов тутового шелкопряда с помощью инфракрасного излучения и вибрации», выполненной в ТашГТУ с 2020 по 2021 гг. и приняты к внедрению на ООО «Агропилла» Уртачирчикского района Ташкентской области.

1. Вид внедренных результатов: *Разработка и внедрение техники и технологии для первичной переработки коконов тутового шелкопряда.*
2. Характеристика масштаба внедрения: *единичное.*
3. Форма внедрения: *практический.*
4. Методика (метод): *Применение процессов и аппаратов для первичной переработки коконов тутового шелкопряда с помощью ультразвуковой-инфракрасной установки с сохранением качества в конечном продукта.*

*При выполнении диссертационной работы применена методология системного анализа и синтеза сложных технических и технологических систем, использованы методы теоретических основ химической технологии, математического моделирования и оптимизации химико-технологических процессов и систем.*


5. Новизна результатов научно-исследовательской работы:

10. Объем внедрения 100% от объема внедрения, положенного в основу расчета гарантированного экономического эффекта, рассчитанного по окончании НИР.


11. Социальный и научно-технический эффект – решение данной проблемы позволяет увеличить производительность и обеспечить получение качественных продуктов. Техника и технология первичной переработки коконов тутового шелкопряда являются экологически чистыми и не загрязняют окружающую среду. Разработанная техника может быть использована на предприятиях малого бизнеса, сельского хозяйства и промышленности шелководства.

**От ТашГТУ:**

Начальник НИЧ


 доц. Мухиддинов З.Н.

Главный бухгалтер ТГТУ

 Мукимов Ж.Б.

**ИСПОЛНИТЕЛИ:**

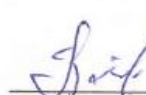
 д.т.н., проф. Сафаров Ж.Э.

 д.т.н., проф. Султанова Ш.А.

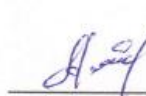
 соискатель Зулпонов Ш.У.

**От ООО «Агропилла»**

Бухгалтер

 Баратова З.

Технолог

 Амедов Р.

Агроном

 Хошимбеков Ж.



## Изготовление опытно-промышленного образца для качественной морки и сушки коконов тутового шелкопряда с помощью инфракрасного излучения и вибрации



# INNOWEEK.UZ-2021

22-27 noyabr









## ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

### ИПАК ҚУРТИ ҒУМБАГИНИ ЖОНСИЗЛАНТИРИШ ВА ҚУРИТИШ ҚУРИЛМАСИ

#### Қурилманинг асосий афзалликлари:

- патент мавжуд (FAP 2019 0149; DGU 06931; DGU 05819);
- 10 марта охириги олинган маҳсулот нархи арзон;
- 15 марта қайта ишлаш вақти қисқа;
- 50% энергия тежамкор, мавжудларга нисбатан;
- 100% импорт ўрнини босади;
- 100% рақобатбардош;
- 100% фойдаланиш ва хизмат кўрсатиш осон;
- 100% параметрларни соzлаш ва жараёни бошқариш имконияти мавжуд;
- 100% экологик тоза технология;
- 24 соат тўхтамасдан ишлаш имконияти мавжуд;
- 1,22 марта ишлаб чиқариш ҳажми ортади;
- 100% сифатли маҳсулот олинади.



#### Қурилманинг техник параметрлари

№	Кўрсаткичлар номи	Бирлиги
1	Тури	Стационар
2	Қайта ишлаш усули	Инфрақизил нур ва вибрация
3	Қайта ишлаш умумдорлиги, кг/соат	60-70
4	Қайта ишлаш вақти, дақиқа	20
5	Қайта ишлаш ҳарорати, °C	65÷75
6	Қурилма учун кучланиш манбаи, В	220
7	Қурилмаи умумий қуввати, кВт/соат	8,2
8	Инфрақизил нурлатгичнинг 1 донасини қуввати, кВт/соат	0,2
9	Инфрақизил нурлатгичлар сони, дона	36
10	Вибраторнинг қуввати, кВт/соат	0,9
11	Умумий конвейр сетканинг узунлиги, м	7,65
12	Умумий конвейр сетканинг ишчи юзаси, м <sup>2</sup>	7,65
13	Қурилманинг габарит ўлчамлари:	
	- узунлиги, м	3
	- эни, м	1,2
	- баландлиги, м	1,7
14	Конвейр сетканинг ўлчамлари:	
	- узунлиги, м	2,55
	- эни, м	1
	- баландлиги, м	0,05

**Муаллиф:** Т.Ф.Д., проф. Сафаров Жасур Эсиргапович

Тел.: +99893 569-02-88

E-mail: [jasursafarov@yahoo.com](mailto:jasursafarov@yahoo.com)

Активация Windows  
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

## ТИЖОРАТЛАШТИРИЛГАН ЛОЙИХАЛАР



### ЛОЙИХА МАВЗУСИ:



Ипак қурти ғумбагини сифатли жонсизлантириш ва қуритиш учун инфрақизил нур ва вибрацияли қурилмани саноат-тажриба намунаси яшаш



#### Лойиҳа муаллифи

Ислон Каримов номидаги  
Тошкент давлат техника униврситети



#### Лойиҳа мақсади:

Импортуни босувчи, экспортбоп, энергия тежамкор,  
юқори самарадор бўлган қурилма ишлаб чиқиш



#### Қўллаш соҳаси:

“Ўзбекипаксаноат” уюшмаси



#### Лойиҳа афзалликлари

Маҳсулот таннарихи 10 баробар арзонлашади, 100%  
сифатли маҳсулот олинади, қайта ишлаш вақти 15 мартага  
қисқаради, мавжудларга нисбатан 50% энергия тежалади



#### Лойиҳа суммаси

350 млн сўм





**Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Самандаров Д.И., Зулпонов Ш.У.**

**ПЕРЕДОВАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРВИЧНОЙ  
ПЕРЕРАБОТКИ КОКОНОВ ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА**

**МОНОГРАФИЯ**

**Издательство “Bookmany print”  
Лицензия № 022246. 28.02.2022 г.  
Подписано к печати 26.01.2023 г.  
Гарнитура “Times New Roman”. Формат 60x84/16  
учет-изд. л. 24,5.  
Печать офсетная. Тираж 50экз.  
г.Ташкент, Учтепинский р., 22-квартал, дом 17-б.**