

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский  
технологический университет»

*На правах рукописи*



**Соловьева Елена Ниязовна**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ  
ПЕРЕРАБОТКИ ОБЛЕПИХИ**

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного  
комплекса

**ДИССЕРТАЦИЯ**  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
Зиатдинова Диляра Фарировна

Казань – 2026

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА I. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ОБЛЕПИХИ.....	11
1.1 Характеристика облепихи .....	11
1.2 Биологически активные вещества, содержащиеся в облепихе, и области их применения.....	12
1.2.1 Биологически активные вещества, содержащиеся в плодах облепихи.....	14
1.2.2 Биологически активные вещества, содержащиеся в побегах облепихи.....	18
1.2.3 Биологически активные вещества, содержащиеся в листьях облепихи.....	20
1.3 Технология и оборудование по извлечению биологически активных веществ из облепихи.....	23
1.3.1 Технологии и аппаратное оформление приготовления напитков из плодов облепихи: сока, концентрата, диффузионного сока.....	23
1.3.2 Технологии и аппаратное оформление процесса извлечения облепихового масла.....	32
1.3.3 Технологии и аппаратное оформление процесса извлечения ценных продуктов из неплодовой части облепихи.....	41
ГЛАВА II. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОБЛЕПИХИ.....	45
2.1 Физическая картина процесса комплексной переработки облепихи...	45
2.2 Математическое описание массообменных процессов при комплексной переработке облепихи.....	47
2.2.1 Формализация процесса.....	47
2.2.2 Математическое описание теплообменных процессов при	

получении биологически активного комплекса с серотонином.....	47
2.2.3 Математическое описание процесса концентрирования диффузионного сока.....	49
2.2.4 Математическое описание процесса экстракции.....	52
ГЛАВА III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	54
3.1 Описание экспериментального стенда для комплексной переработки облепихи.....	54
3.1.1 Описание установки для сепарации облепихи на отдельные компоненты.....	55
3.1.2 Описание установки для исследования теплообменных процессов при производстве биологически активного комплекса с серотонином.....	56
3.1.3 Описание установки для исследования процесса концентрирования сока.....	57
3.1.4 Описание установки для исследования процесса экстракции и определения коэффициента массопроводности.....	59
3.2 Методика проведения экспериментальных исследований комплексной переработки облепихи.....	61
3.2.1 Методика сепарации облепихи на отдельные компоненты.....	61
3.2.2 Методика исследований теплообменных процессов при производстве биологически активного комплекса с серотонином.....	62
3.2.3 Методика исследований процесса концентрирования и определения коэффициента теплопередачи.....	64
3.2.4 Методика исследований процесса экстракции и определения коэффициента массопроводности.....	67
3.3 Анализ результатов исследований физического и численного моделирования.....	68
3.3.1 Анализ результатов сепарации плодов облепихи на отдельные компоненты.....	68

3.3.2 Анализ результатов исследования теплообменных процессов при производстве серотонина.....	69
3.3.3 Анализ результатов исследования процесса концентрирования....	73
3.3.4 Анализ результатов исследования процесса экстракции и определения коэффициента массопроводности .....	77
ГЛАВА IV. ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОБЛЕПИХИ.....	84
4.1 Описание технологической линии комплексной переработки облепихи.....	84
4.2 Инженерная методика расчета узла концентрирования.....	88
4.3 Анализ результатов моделирования конструктивных параметров узла концентрирования.....	93
4.4 Техничко-экономическое обоснование .....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	103
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	105
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	123
Приложение А. Статистическая обработка результатов.....	124
Приложение Б. Акт о принятии к внедрению.....	128
Приложение В. Патенты и дипломы .....	129

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Согласно Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 г. приоритетными являются хранение и эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных продуктов питания.

Особой перспективностью в качестве объекта научных исследований отличается лекарственное растительное сырье облепихи, в частности, облепихи крушиновидной (*Hipporhae rhamnoides*), которая относится к семейству Лоховые (*Elaeagnaceae*).

В плодах, коре и листьях облепихи крушиновидной содержатся биологически активные вещества, витамины, ценные масла и микроэлементы, поэтому облепиха является перспективным растительным сырьем и активно культивируется для производства лекарственных препаратов и косметических средств.

Несмотря на наличие отдельных технологий получения продуктов из плодов облепихи (соков, масел, концентратов) и ее неплодовых частей (серотонина, аллантаина, фенольных комплексов), существующие подходы, как правило, ориентированы на извлечение одного целевого компонента. Это приводит к неполному использованию биохимического потенциала сырья, значительным потерям ценных вторичных ресурсов (жома, семян, побегов) и образованию отходов, что противоречит принципам рационального природопользования.

Поэтому исследования, направленные на разработку технологии и аппаратного оформления комплексной переработки облепихи являются актуальными.

Работа выполнялась в рамках конкурса научно-исследовательских проектов «ТехноСтарт» на тему «Разработка технологической линии производства биологически активного комплекса, содержащего серотонин» (договор № 4-24 от 18.01.2024 г.), конкурса «Студенческий стартап» на тему

«Разработка способа высокоэффективной экстракции каротина и 5-гидрокситриптамина из облепихи» (договор № 568ГССС15-L/78854 от 12.09.2022 г.).

**Степень разработанности темы.** Вопросами переработки растительного сырья и извлечения биологически активных веществ занимались: Рошин В.И., Базарнова Н.Г., Кутакова Н.А., Кочетов А.С., Сидорова Ю.С., Бородулин Д.М., Кривченкова М.В., Веницкая Е.А. Значительный вклад в решение задач по извлечению биологически активных веществ из облепихи внесли российские ученые Матафонов И.И., Золотарева А.М., Мустафаева К.К., Малахова Т.В., Атаманов, А.А., Макаревич Н.А., Семин А.Н., Нижегородцев Ю.М., Алексеенко Е.В. Данная тема рассматривалась в трудах таких зарубежных ученых, как Xuetao Zhang, Tom Beveridge, Ivetta Vincze, Mariana Popescu, Florentina-Mihaela Ursache.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является разработка технологии и аппаратного оформления процесса комплексной переработки облепихи.

Для реализации поставленной цели поставлены задачи:

1. Разработать методы определения коэффициента массопроводности для процесса извлечения масла из выжимок облепихи и расчета коэффициента теплопередачи в выпарном аппарате при концентрировании диффузионного сока.
2. Моделирование процесса паровзрывной обработки побегов облепихи для установления рациональных режимов получения биологически активного комплекса, содержащего серотонин.
3. Моделирование процесса концентрирования диффузионного сока в вакуумном выпарном аппарате с целью определения оптимальных параметров (остаточное давление, температура) для получения концентрата.
4. Моделирование процесса экстракции масла из выжимок облепихи для выявления технологических параметров.
5. Разработка технологии комплексной переработки облепихи.

**Научная новизна.**

1. Разработаны методы определения коэффициента массопроводности и расчета коэффициента теплопередачи.

2. Моделированием процесса паровзрывной обработки побегов облепихи выявлены рациональные параметры влагонасыщения для получения биологически активного комплекса, содержащего серотонин (пат. № 2792374):

- давление насыщенного пара  $P_n = 0,9 - 1,0$  Мпа;
- продолжительность процесса  $\tau = 4 - 5$  мин.

3. Моделированием процесса концентрирования диффузионного сока в вакуумном выпарном аппарате с циркуляционной трубой выявлены рациональные параметры организации технологического процесса получения концентрата (пат. № 2794158, № 2813352):

- остаточное давление  $P_{ост} = 7 - 12$  кПа;
- температура процесса  $t = 40 - 50$  °С.

4. Моделированием процесса экстракции масла из выжимок облепихи выявлены технологические параметры для получения масла (пат. № 2838770):

- гидромодуль процесса 8 – 9;
- температура процесса  $t = 30 - 35$  °С;
- продолжительность процесса: для жома мякоти  $\tau = 60 \pm 5$  мин, для жома семян  $\tau = 70 \pm 5$  мин.

5. Разработана технология комплексной переработки облепихи (пат. № 2797550).

**Теоретическая значимость работы** заключается в развитии научных основ процесса комплексной переработки облепихи и определении массопроводных свойств ее компонентов.

**Практическая значимость работы** заключается в формулировании методических рекомендаций и предложений для организации комплексной

переработки облепихи, включая этапы подбора оптимальных режимных параметров процесса, позволяющих улучшить качество конечных продуктов и повысить конкурентоспособность на российском и зарубежном рынках.

Разработанные математические модели, инженерные методики расчета оборудования могут быть использованы при технологических расчетах процесса переработки растительного сырья и конструкторских расчетах аппаратного оформления процесса. Новые данные и аналитические решения, полученные в результате научных исследований, позволят оптимизировать режимные технологические параметры производственного процесса получения биологически активных веществ (БАВ).

Полученные результаты исследований приняты к внедрению в АО «Ласкрафт» (г. Казань).

**Методология и методы исследования.** Методологической основой исследования послужили сведения о свойствах сырья, модуле процесса экстракции, виде экстрагента, которые выступают в качестве основных факторов, влияющих на режимные параметры исследуемой технологии. Теоретическую базу исследований составили труды ученых, занимающихся вопросами переработки растительного сырья и извлечением из него биологически активных веществ, а также нормативные документы, определяющие качественные характеристики получаемых продуктов.

**Достоверность результатов исследований** обеспечивается использованием сертифицированного оборудования и проведением калибровки приборов в ходе экспериментальных работ; использованием современных методов отбора и подготовки образцов; применением адекватных статистических методов для анализа данных, позволяющих определить значимость результатов и исключить случайные ошибки; согласованностью с опубликованными ранее экспериментальными данными других исследователей.

**Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертационной работе** заключается в проведении экспериментов, анализе

полученных данных и интерпретации результатов исследований, разработке экспериментальных стендов и установок для проведения необходимых испытаний и измерений, в подготовке основных публикаций по выполненной работе, включая статьи, доклады и презентации на конференциях и семинарах. Автору принадлежат основные идеи работ, опубликованных в соавторстве.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.**

Результаты диссертации соответствуют паспорту специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса по п. 2. «Теория и методы технологического воздействия на объекты сельскохозяйственного производства (почву, растения, животных, зерно, молоко и др.)».

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Методы определения коэффициентов массопроводности сырья облепихи (для жома мякоти и семян) и расчета коэффициента теплопередачи в выпарном аппарате с циркуляционной трубой, учитывающих влияние режимных и конструктивных параметров.

2. Рациональные параметры паровзрывной обработки побегов облепихи для получения биологически активного комплекса, содержащего серотонин.

3. Рациональные параметры концентрирования диффузионного сока в выпарном аппарате с циркуляционной трубой для получения концентрата.

4. Технологические параметры процесса экстракции масла из выжимок облепихи.

5. Технология комплексной переработки облепихи и аппаратное оформление процесса, обеспечивающие безотходное производство широкого спектра целевых продуктов.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международных конференциях «Перспективы развития лесного комплекса» (Брянск, 2023 г.), «Наука и технологии в лесопромышленном комплексе» (Брянск, 2023 г.), «Интенсификация

тепломассообменных процессов, промышленная безопасность и экология» (Казань, 2024 г.); на всероссийских конференциях «Вакуумная техника и технология» (Казань, 2023 г.), «Актуальные проблемы лесного хозяйства и деревопереработки» (Казань, 2023 г.).

Результаты исследований отмечены дипломом победителя конкурса стипендий Мэра г. Казани (2024 г.), дипломом победителя научно - исследовательских проектов аспирантов ФГБОУ ВО «КНИТУ» «ТехноСтарт» (2025 г.), дипломом победителя конкурса «Лучший молодой ученый Республики Татарстан» (2024 г.), грантом фонда содействия инновациям «Студенческий стартап» (2025 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 19 печатных работ, в том числе 7 статей в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень ВАК Минобрнауки России, из них по специальности – 2 статьи, 5 патентов, 7 трудов в прочих изданиях.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Диссертационная работа изложена на 136 страницах, включает 36 рисунков и 11 таблиц. Список литературы включает 131 наименование цитируемых работ, в том числе 29 наименований на иностранных языках.

# ГЛАВА I. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ОБЛЕПИХИ

## 1.1 Характеристика облепихи

Облепиха (*Hippophae rhamnoides*) – представляет собой уникальный многолетний кустарник или небольшое дерево, относящееся к семейству Лоховые (*Elaeagnaceae*). Это растение широко распространено в умеренных и холодных климатических зонах Евразии, включая обширные территории России, Монголии, Китая, а также страны Северной и Центральной Европы.

Кустарник широко распространен на территории России, главным образом в сибирских регионах. В пределах Сибири ареал произрастания дикорастущей облепихи охватывает Алтай, Забайкалье и Саяны. Первое место среди регионов России по выращиванию занимает Алтайский край – облепиховые плантации занимают площадь более 3 000 га. В промышленных масштабах кустарник также выращивается в Республике Бурятия и во Владимирской области [7, 11].

Благодаря своей исключительной экологической пластичности, облепиха демонстрирует высокую устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды: она хорошо переносит засуху, сильные морозы, засоленность и бедность почв. Эта характеристика обусловила ее использование не только как ценную сельскохозяйственную культуру, но и как растение-мелиорант для закрепления склонов, оврагов, рекультивации нарушенных земель и создания защитных лесополос. Мощная, глубоко проникающая корневая система облепихи обладает способностью к симбиотической азотфиксации благодаря наличию клубеньковых бактерий рода *Frankia*, что позволяет ей обогащать почву доступным азотом и улучшать условия для роста других растений [99].

Морфологически облепиха представляет собой двудомное растение с четким разделением на мужские и женские экземпляры, что необходимо

учитывать при закладке промышленных плантаций для обеспечения перекрестного опыления и высоких урожаев. Для получения стабильного плодоношения рекомендуется высаживать одно мужское растение на каждые 5 – 8 женских в зависимости от сортовых особенностей и условий опыления. Кустарник имеет колючие побеги, узкие ланцетовидные листья серебристо-зеленого цвета с характерным опушением и ярко-оранжевые или желтые плоды-костянки, густо облепляющие ветви (отсюда и русское название растения). Плотное расположение плодов, их прочное крепление к плодоножке и относительно тонкая, но прочная кожица представляют как технологические преимущества, так и сложности при машинной уборке и последующей переработке. Плоды созревают в конце лета – начале осени и отличаются кисло-сладким, терпким вкусом.

## **1.2 Биологически активные вещества, содержащиеся в облепихе, и области их применения**

В литературных источниках представлена информация об эколого-биологических особенностях выращивания облепихи и биохимическом составе облепихового масла и плодов. Установлена зависимость биохимического состава мякоти плодов, семян и листьев облепихи включая соотношение сахаров, органических кислот, витаминов и масел. Он существенно варьируется в зависимости от сорта, региона произрастания, почвенно-климатических условий и фазы зрелости. [22, 24, 54].

Главная ценность облепихи кроется в ее уникальном и богатом биохимическом составе, который делает ее настоящим «суперфудом» и полифункциональным сырьем [14, 84]. Все части растения – плоды, семена, листья, кора и молодые побеги – содержат комплекс биологически активных веществ (БАВ), имеющих высокую пищевую, фармацевтическую и косметическую значимость [16, 18, 39, 57, 94], таких как витамины (А, С, Е, К, рибофлавин, фолиевая кислота), каротиноиды ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ -каротин, ликопин),

фитостеролы (эргостерол, стигмастерол, ланстерол, амирины), органические кислоты (яблочная кислота, щавелевая кислота), полиненасыщенные жирные кислоты [17] и некоторые незаменимые аминокислоты [1, 6, 93]. Содержание биологически активных компонентов в облепихе изучается многими исследователями [1, 18, 20, 57, 100].

Рядом исследователей было обнаружено в плодах облепихи множество органических соединений, обладающих биологической активностью, таких как витамины, каротиноиды, флавоноиды, протеины, антиоксиданты, жирные кислоты и фитостеролы. Флавоноиды образуют основную подгруппу фенольных соединений облепихи, которые могут играть значительную роль в профилактике и лечении хронических заболеваний, таких как диабет, сердечно-сосудистые заболевания, онкология [3, 15, 82].

Облепиха полезна для восстановления и сохранения почвы, особенно на хрупких склонах из-за ее обширной корневой системы. Она превратилась в основной ресурс для Китая [114], где за последние десять лет облепихой покрыли большие площади земли и создали более 200 заводов по переработке облепихи, производящих широкий ассортимент пищевых продуктов, напитков, биологически активных добавок, лекарств и косметики [32].

Растительное сырье, богатое ценными биологически активными соединениями, снова оказалось в центре внимания благодаря большому спросу потребителей на здоровое натуральное питание. Исключительно положительный питательный состав облепихи дает возможность использовать все растение благодаря безотходной технологии, и повторно использовать богатые питательными веществами побочные продукты и остатки для производства нутрицевтиков с высокой добавленной стоимостью [119]. В настоящее время облепиха приобрела статус одного из самых востребованных растений в фармацевтической и косметической промышленности, а также в отраслях по производству здорового питания во всем мире. Несколько стран коммерчески и экологически используют

потенциал облепихи для улучшения условий жизни и сохранения окружающей среды.

### **1.2.1 Биологически активные вещества, содержащиеся в плодах облепихи**

Ефремовым А. П. были проведены исследования по определению минерального состава плодов облепихи [23]. В результате данных исследований было выявлено наличие в плодах жирного масла, в составе которого содержатся глицериды пальмитиновой, линолевой, олеиновой, стеариновой и фолиевой кислот, флавоноиды, каротиноиды, серотонин, катехины, кумарины, а также органические кислоты (яблочная, винная и др.), дубильные вещества, витамины группы В, витамины С, F, E, PP, K, Zn, и микроэлементы.

Анализ минерального состава облепихи, выполненный Л. С. Науменко, Н. В. Поповой и др. [51], показал его значительное разнообразие и богатство. В исследуемом сырье идентифицировано 5 макроэлементов (Na, K, Ca, Mg, P) и 10 микроэлементов (Fe, Si, Al, Mn, Pb, Ni, Mo, Cu, Zn, Sr).

В работе Елисеева И.П. и Шумратовой Т.И. представлены исследования по определению наличия калия и магния в плодах облепихи, произрастающей в средней полосе России [19].

Матафонов И. И. в своей работе сообщает о содержании меди, цинка, марганца в плодах дикорастущей облепихи Восточной Сибири [48].

Тарабанько В.Е. показал, что в витаминной композиции, полученной путем переработки облепихи, содержится суточная потребность человека в витаминах С, А, Е и Р [67].

Ягоды облепихи более насыщены витамином С, чем плоды цитрусовых. Так, облепиха содержит больше аскорбиновой кислоты, чем другие плодовые и ягодные культуры. По имеющимся данным, у плодов облепихи, произрастающих в России, содержание витамина С может находиться в

диапазоне от 80 до 280 мг/100 г [47].

Среди биологически активных веществ каротиноиды вызывают большой интерес, поскольку они обладают множественными свойствами, такими как антиоксидантные, антимуtagenные и противоопухолевые. Сорок один вид каротиноидов зарегистрирован в различных сортах, при этом основными являются зеаксантин,  $\beta$ -криптоксантин и  $\beta$ -каротин [108, 118].

Большое внимание исследователей уделяется изучению сока из плодов облепихи. Было выявлено, что сок облепихи имеет бактерицидную активность в отношении стафилококков, возбудителей брюшного тифа и дизентерии [48]. Облепиховый сок способствует улучшению микрофлоры кишечника, стимулируя выделение пищеварительных ферментов и желчи. При поражении печени у животных, под влиянием сока снижалась интенсивность патологических процессов в печеночных клетках [41].

Сок облепихи вместе с мякотью следует принимать при заболеваниях желудка, при пониженной кислотности желудочного сока [10], нарушении моторики внутренних органов (желудка и кишечника) и хлорозе [98]. Кроме того, его прописывают как общеукрепляющее средство [122].

Также в различных сферах применяется и концентрированный сок облепихи. Он сохраняет в себе много полезных веществ, например, в медицине его добавляют в некоторые сиропы и леденцы. Концентрат широко применяется в пищевой промышленности, но он не является готовым продуктом, который можно сразу употреблять в пищу, он своеобразного рода сырье. Далее из данного сока изготавливают восстановленные соки, морсы, компоты, джемы, повидло и другие продукты [55, 95].

В настоящее время интерес ученых привлекает возможность использования растительного сырья, в частности, сырья облепихи при заморозке продуктов с выделением инициаторов центров льдообразования. Вещества, которые образуют центры кристаллизации льда, до последнего времени применялись для замораживания пищевых продуктов с целью

получения наиболее полезной консистенции продукта. До этого большую часть биологических соединений, инициирующих образование центров кристаллизации льда, получали из насекомых или микроорганизмов [66].

Однако выделение инициаторов центров льдообразования из растительного сырья может быть очень перспективным решением для замораживания и криоконцентрирования пищевых продуктов.

Благодаря наличию в ягодах облепихи органических кислот, фенольных соединений и других БАВ, плоды относят к функциональным, адаптогенным средствам, которые обладают антиоксидантными, ранозаживляющими, противоопухолевыми, а также антистрессовыми свойствами [34, 109, 127]. В связи с этим в России разрабатываются и выпускаются лекарственные препараты различного назначения на основе облепихи.

Облепиха обладает значительной кардиопротекторной активностью и оказывает множество положительных целебных эффектов на сердечно-сосудистую систему, включая подавление активации тромбоцитов в крови, снижение концентрации холестерина и артериального давления [109, 117].

Плоды облепихи характеризуются высокой масличностью. Качественный состав липидов во всех изученных сортах единообразен и представлен, в порядке убывания, триацилглицеридами, полярными липидами, стеринами и их эфирами, диглицеридами, свободными жирными кислотами и высшими спиртами. Воски присутствуют в следовых количествах. Количественное соотношение указанных фракций варьирует в зависимости от сорта [45].

Масло облепихи входит в состав антибактериального препарата «Олазоль», который применяется при ожогах, обеззараживании ран, а также при лечении язв [20].

Кольтюгина О.В. в своей работе [40] подтверждает, что масло, извлекаемое из плодов облепихи, является высокоценным липидным продуктом с уникальным и стабильным качественным составом,

включающим триацилглицериды, полярные липиды, фитостерины и широкий спектр жирных кислот. Его ключевой пищевой и функциональной характеристикой является исключительно высокое содержание биологически активных жирорастворимых компонентов: каротиноидов (провитамина А) в количестве 7,25 – 21,01 % от суммы жирных кислот и токоферолов (витамина Е) 99,15 – 210,38 мг на 100 г масла, что определяет его мощные антиоксидантные свойства. Наличие значимого количества фитостеринов ( $\beta$ -ситостерина) и полиненасыщенных жирных кислот (4 – 6,20 %) дополнительно усиливает питательную и потенциальную гипохолестеринемическую ценность масла.

Также российскими учеными было представлено средство, которое обладает желчегонной активностью, содержащее концентрат тритерпеновых кислот, полученный из шрота плодов облепихи путем трехкратной экстракции метилтретбутиловым эфиром, очистки от неполярных примесей промывкой петролейным эфиром, удаления остаточных количеств полярных соединений экстракцией горячей водой с одновременной отгонкой с водяным паром петролейного эфира при определенных условиях [70].

Препараты на основе облепихи применяются для лечения лучевых поражений кожи, ожогов различной этиологии, язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки. Защитные и лечебные эффекты облепихи при ранах, ожогах, ошпариваниях, язвах и повреждениях слизистой оболочки были широко исследованы с использованием различных моделей на животных и в ходе клинических испытаний [20, 33, 128].

Также облепиха нашла свое применение в сельском хозяйстве, где из нее производят корма для животных [83, 124]. Например, было отмечено, что молочная продуктивность коров повышалась после включения в их рацион облепихового жмыха. За весь период исследований от животных было получено на 3,5 % молока больше, чем от коров контрольной группы [49].

### **1.2.2 Биологически активные вещества, содержащиеся в побегах облепихи**

Основная ценность облепихи заключается в ее ягодах, однако кора, листья, побеги и древесина также богаты разнообразными биологически активными веществами [37, 36].

В коре, побегах и древесине присутствуют особые соединения, обладающие высокой питательной и оздоровительной ценностью [3]. Таким образом, все части растения являются источником полезных веществ и биологически активных компонентов [131].

При этом в период сбора урожая и омолаживающей обрезки образуется большое количество такого сырья, которое в настоящее время утилизируется (сжигается), что снижает потенциал ресурсосбережения при комплексном использовании облепихи [28].

Одним из ключевых этапов в изучении биохимии облепихи стало открытие П. С. Массажетова, М. Ф. Петровой и др. в 1947 году: из коры и листьев ими были выделены два вещества алкалоидной природы, одно из которых получило название гиппофаин. Данное открытие послужило разработке нового способа получения серотонина из сырья облепихи [2], что стало основой для получения стандартизованного препарата «Гиппофаин» – хлоргидрата серотонина, зарегистрированного в СССР как биологически активная добавка с выраженной антидепрессивной активностью.

Неоднократные эксперименты Ambaye R.Y. и Indap M.A. подтвердили данные о содержании алкалоидов в коре растения, тем самым заложив основу для более детального фракционирования экстрактов [104].

Меньшиков Г.П. и Петрова М.Ф. выделили из экстракта коры облепихи комплекс азотистых оснований [81]. Позднее этим же авторам удалось выделить одно из оснований этого комплекса и идентифицировать его как 5-окситриптамин (серотонин). По их данным, содержание 5-окситриптамина в коре колеблется в пределах 0,3 – 0,4 %, что значительно превосходит его

содержание в коре других растений.

Известно, что гормон радости серотонин, который получают из неплодовой части облепихи, участвует в регуляции сосудистого тонуса [97, 73]. Дефицит серотонина в мозгу приводит к депрессивным состояниям и к тяжелым формам мигрени.

Биологически активная добавка «Гиппофаин» (хлоргидрат серотонина), а также спиртовые экстракты коры стволов и ветвей, проявляют антидепрессивную, иммуномодулирующую и противоопухолевую активность: в экспериментах отмечено угнетение роста саркомы и опухоли Эрлиха [58]. Серотонин участвует в модуляции высшей нервной деятельности, улучшает эмоциональный фон и способствует защите организма от инфекций и опухолевого роста [31].

Применение серотонинсодержащих препаратов способствует продлению сроков хранения листовых овощей и цветов. В настоящее время для этих целей используются вещества, представляющие опасность для здоровья человека. Порошкообразный препарат на основе серотонина может стать достойной экологически безопасной альтернативой таким вредным средствам. Его использование позволяет увеличить продолжительность хранения растений с семи до двадцати восьми дней [97].

Основное накопление серотонина происходит в побегах и коре облепихи, причем в объемах, достаточных для промышленного извлечения. Следовательно, ветви облепихи представляют собой перспективное сырье для производства серотонинового препарата.

В коре и молодых веточках облепихи содержится аллантоин – биологически активное вещество, применяемое в медицине и косметологии. По своей химической природе аллантоин является производным мочевины, что обуславливает его антимикробный эффект. Аллантоин в составе косметических препаратов ускоряет регенерацию и заживление ран, препятствует появлению морщин, является увлажняющим, питательным и

обеззараживающим компонентом [50].

В литературе имеются данные об изучении химического состава коры старых растений и молодых побегов облепихи. Облепиха богата дубильными веществами, общее содержание которых в листьях и молодых побегах ее превышает 10 % [81].

### **1.2.3 Биологически активные вещества, содержащиеся в листьях облепихи**

Листья облепихи, несмотря на традиционное внимание к плодам, представляют собой значительный ресурс биологически активных соединений с широким спектром физиологических свойств.

Химический состав листьев отличается разнообразием и включает комплекс соединений фенольной природы, терпеноидов, витаминов, макро- и микроэлементов, что определяет их потенциал для применения в пищевой, фармацевтической, косметической промышленности и сельском хозяйстве.

Основными группами биологически активных веществ, идентифицированных в листьях облепихи, являются флавоноиды, дубильные вещества (таннины), тритерпеноиды (включая урсоловую и олеановую кислоты), фитостеролы, каротиноиды, а также витамины (прежде всего, витамин С) и минеральные элементы [123].

Дубильные вещества, содержание которых в листьях может достигать 10 % и более, оказывают вяжущее, антимикробное и противовоспалительное действие, что обуславливает их применение в составе ранозаживляющих и противодиарейных средств [3, 120]. Важными компонентами являются тритерпеновые кислоты, в частности урсоловая кислота, которая проявляет гепатопротекторные, противовоспалительные и антимикробные свойства, а также способствует синтезу коллагена, что делает ее востребованной в косметологии [100].

В пищевой промышленности листья облепихи используются

преимущественно для производства чайных напитков и фиточаев, часто в смеси с другими лекарственными растениями. Такие продукты обладают приятным вкусом, ароматом и функциональными свойствами, способствуя укреплению иммунитета и улучшению общего тонуса организма. Помимо этого, порошок из высушенных листьев может вводиться в рецептуры хлебобулочных, кондитерских и макаронных изделий в качестве обогащающей добавки, повышающей содержание пищевых волокон, минералов и антиоксидантов [29].

В сельском хозяйстве листья облепихи рассматриваются как ценный кормовой ресурс для сельскохозяйственных животных благодаря высокому содержанию белка (в среднем около 15 %), витаминов и минеральных веществ. Включение листовой массы или экстрактов в рационы способствует повышению продуктивности, улучшению иммунного статуса и качества продукции [49, 130]. Кроме того, листья могут использоваться для получения биологически активных кормовых добавок, оказывающих пребиотическое и антиоксидантное действие [48, 115].

Так как облепиху применяют в изготовлении множества продуктов, то вопросы поиска рациональных способов выделения ценных компонентов и получение дополнительного количества БАВ из нее, несомненно, являются актуальными.

Плоды облепихи перерабатывают на соки, варенье, морсы, пюре и масло, а листья используют для производства чая. Образующиеся после этого ветви можно применять для выделения серотонина. Перспективным является выпуск порошкового препарата с содержанием серотонина около 2 % в качестве биологически активной добавки к пище. Данное средство будет стимулировать работу сосудов и ЖКТ, а также способствовать улучшению психического самочувствия, помогая сгладить сезонные депрессии. При этом его цена окажется более доступной по сравнению с дорогостоящим синтетическим серотонином.

По результатам аналитического обзора можно привести классификацию

продуктов, получаемых на основе сырья из облепихи, по отраслям промышленности (рис. 1.1). Анализ обзора показал, что облепиха находит свое применение в пищевой и косметической отраслях промышленности, в сельском хозяйстве и медицине.

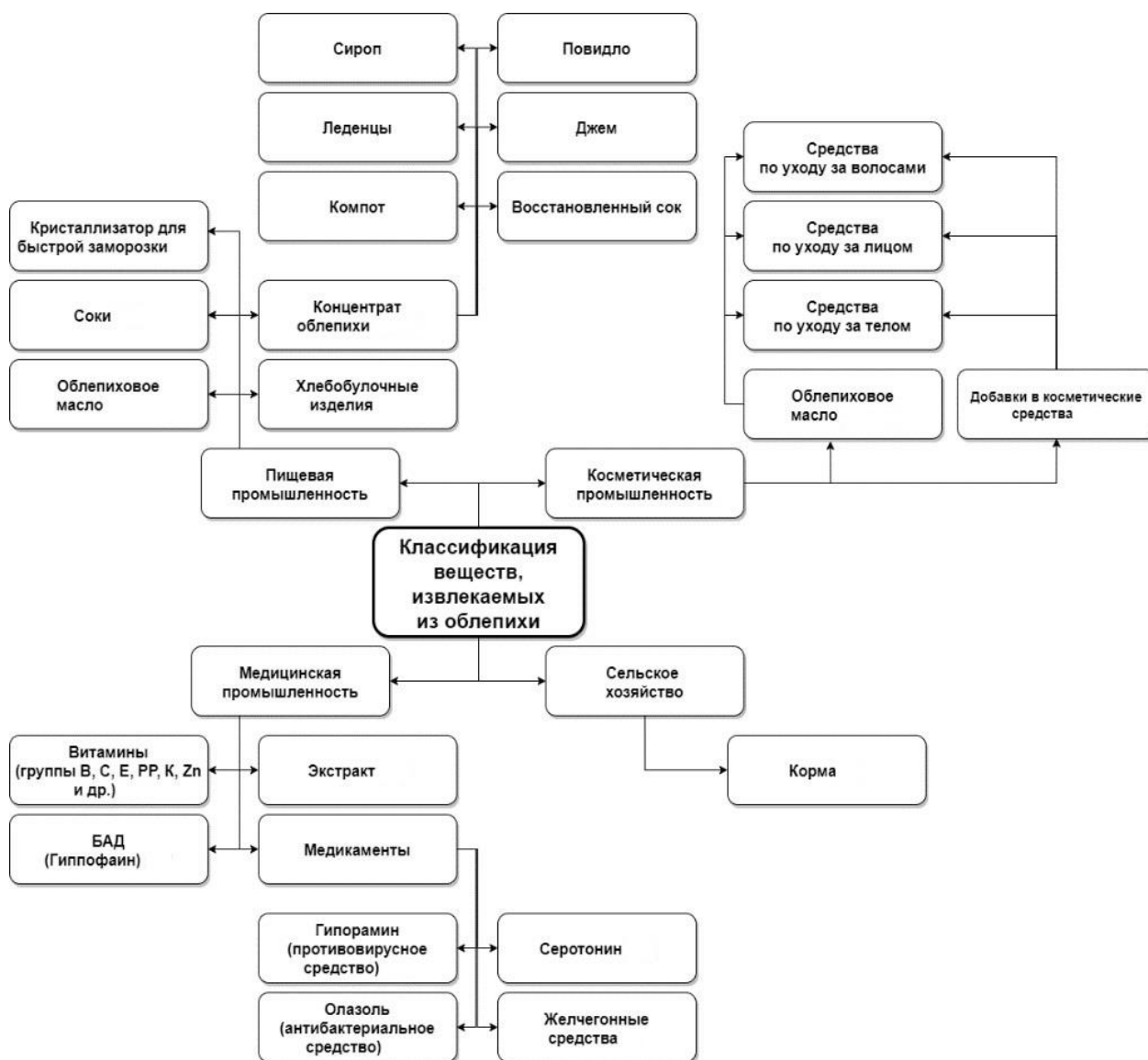


Рисунок 1.1 – Классификация продуктов из облепихи по отраслям промышленности

Приведенная классификация продуктов по отраслям промышленности способствует ускорению внедрения технологий извлечения полезных веществ на конкретных предприятиях. В соответствии с этой классификацией можно определить, что в пищевой промышленности могут быть внедрены

технологии изготовления облепихового масла, сока, концентрата, кристаллизатора для быстрой заморозки пищевых продуктов при изготовлении хлебобулочных изделий. В косметической промышленности разработанные технологии могут применяться для изготовления добавок в косметические продукты, в медицинской промышленности могут применяться в производстве витаминов, лечебных экстрактов, биологически активных добавок (БАД) и медикаментов, в сельском хозяйстве для производства кормов для животных.

Дальнейшие исследования в данном направлении с учетом особенностей природной структуры отдельных частей облепихи, используемых экстрагентов и условий протекания процессов экстракции являются, несомненно, актуальными.

### **1.3 Технология и оборудование по извлечению биологически активных веществ из облепихи**

#### **1.3.1 Технологии и аппаратное оформление приготовления напитков из плодов облепихи: сока, концентрата, диффузионного сока**

В зависимости от способов получения различают соки следующих видов: прямого отжима, свежавыжатый, сок с мякотью, концентрированный, восстановленный и купажированный [106].

В процессе производства сока из облепихи первостепенной и наиболее важной задачей является сохранение ценных веществ и свойств исходного сырья. Необходима оптимизация и усовершенствование всех процессов производства от приемки сырья до розлива готового продукта.

Производство соков прямого отжима характеризуется минимализацией промышленных процессов. Несмотря на это, производства таких соков с использованием только физических методов практически нет, так как они

малоэффективны (выход сока 45 – 65 %).

Для производства сока прямого отжима используют свежие качественные ягоды, которые подвергают механической обработке и деаэрации (пастеризации), после чего готовый продукт упаковывают. Схема производства сока прямого отжима представлена на рис. 1.2 [92].



*Рисунок 1.2 – Схема производства облепихового сока прямого отжима*

Концентрированный сок – продукт, получаемый путем физического удаления из сока прямого отжима части содержащейся в нем воды в целях увеличения содержания растворимых сухих веществ не менее чем в два раза по отношению к исходному соку прямого отжима. Для изготовления концентрата помимо сока прямого отжима подойдет свежавыжатый сок, то есть сок, не прошедший никакой термической обработки [30].

Извлечение воды из ягод облепихи позволяет максимально снизить рост бактерий, и, следовательно, срок годности продукта увеличивается. К тому же

этот процесс позволяет сэкономить на упаковке и транспортировке продукта [103].

Производство концентрированного сока начинается с предварительной подготовки и обработки сырья. Отжатый сок направляют в накопительную цистерну, откуда сок поступает на концентрирование, которое может осуществляться одним из следующих способов: выпариванием, вымораживанием, с помощью мембранной технологии [53, 91].

Выпаривание сока – это концентрирование посредством воздействия высоких температур в условиях пониженного давления. Для обеспечения сохранности сока и подавления развития патогенной микрофлоры проводится его нагрев до температуры 87 – 92 °С с выдержкой в течение 35 – 40 секунд. Однако данный режим обработки приводит к термической деградации биологически ценных компонентов, а также изменению качественных характеристик готового продукта — вкуса, цвета и запаха концентрата. С целью предотвращения этих нежелательных эффектов применяются вакуумные установки, позволяющие осуществлять уваривание сока при пониженных температурах [4].

Известен способ получения концентрированного сока путем выпаривания в вакуумной установке при разрежении 1 – 10 Па, с последующим разбавлением полученного концентрата до необходимого содержания растворимых сухих веществ. Концентрированный сок сушат при температуре 50 °С и атмосферном давлении в течение четырех дней. Готовый гранулированный сок досушивают в течение трех дней при той же температуре до содержания растворимых сухих веществ не менее 80 °Вх. Перед употреблением гранулированный сок (концентрат) разбавляют. Таким образом получают восстановленный сок [69].

Алексеев Е. В. представила способ получения концентрата, где сначала дробят облепиху с получением мезги (масса раздавленных ягод облепихи), которую выдерживают 10 – 15 минут при температуре 40 – 45 °С, после чего смешивают ее с ферментными препаратами, затем проводят

гидролиз продолжительностью 1 – 2 часа при той же температуре 40 – 45 °С. Полученную смесь нагревают до температуры 80 – 85 °С и через пару минут охлаждают. Уже из охлажденной смеси выделяют жидкую фракцию, смешивают с сахаром и концентрируют под вакуумом. Данный способ позволяет получить концентрат высокого качества [71].

В процессе концентрирования сока можно осуществлять сбор ароматических веществ, испаряющихся в процессе нагревания [42, 121].

Концентрирование сока путем вымораживания основано на охлаждении продукта ниже температуры его замерзания. При таком способе часть воды кристаллизуется (образуется лед) и отделяется от концентрата.

Вымораживание проходит в два этапа: кристаллизация и сепарирование. На первом этапе вода, находящаяся в соке, превращается под действием низких температур в лед, а концентрация сухих веществ в соке увеличивается. Далее полученная смесь льда и концентрированного сока разделяется под действием внешнего давления или центробежных сил [59]. Концентрирование путем вымораживания считается одним из лучших способов получения концентрата сока. Такой способ имеет ряд преимуществ, например, он является менее энергозатратным. Также процесс протекает при умеренной отрицательной температуре, поэтому продукт сохраняет свой химический состав.

Известен способ концентрирования соков вымораживанием, который основан на воздействии на концентрируемый сок какого-либо инертного газа, например CO<sub>2</sub> [71] с целью отделения кристаллов льда от концентрата. При этом используемый газ не должен оказывать негативного влияния на концентрат, в частности, на витамины, и он должен быть дешевым.

Концентрат высокого качества без термической обработки можно получить на обратноосмотических мембранных установках в процессе ультрафильтрации с использованием мембран обратного осмоса [125, 126]. При этом все ценные биологически активные компоненты в полученном концентрате сохраняются. Работа данных установок происходит при

давлении 8 – 10 МПа, а время обезвоживания составляет 5 – 6 часов [5]. Данная технология позволяет концентрировать соки максимально до 40 % растворимых сухих частиц. Полученный концентрат осветляют в ультрафильтрационной установке, после чего он становится прозрачным, либо его оставляют неосветленным.

Концентрированный сок облепихи производят промышленным способом в различных сферах с целью снижения затрат на хранение, упаковку, обработку и доставку. Он сохраняет в себе много полезных веществ. Концентрат широко применяется в пищевой промышленности как сырье, которое после заморозки, пастеризации, либо консервации транспортируют производителям. Такое сырье, при соблюдении всех правил и условий хранения, может сохраняться от 6 месяцев до года [95].

Восстановленный сок – это сок, полученный в процессе разбавления концентрированного сока водой с возможным добавлением сахара и лимонной кислоты. Восстановленный сок производят по следующей технологической схеме: концентрат сока нагревают до 100 °С в течение 30 сек, затем выдерживают 3 – 4 сек и быстро охлаждают до комнатной температуры. В полученный концентрат вливают питьевую воду в необходимом объеме, добавляют лимонную кислоту, которая используется в качестве консерванта, и сахар для улучшения вкусовых свойств. Для сохранения и выравнивания цвета в сок разрешается добавлять аскорбиновую кислоту. Далее восстановленный сок поступает на пастеризацию. Сок нагревают до температуры 90 – 97 °С, выдерживают в течение 30 сек, и быстро охлаждают до 25 °С. В процессе данной тепловой обработки уничтожаются все вредные микроорганизмы. После этого сок подается в упаковочную машину, где происходит розлив, стерилизация и формовка пакетов. У данного способа есть недостатки, например, большое количество сахара или сахарозаменителей в составе, потеря полезных компонентов при термической обработке и добавление ароматообразующих веществ [69, 110].

Диффузионный сок – это сок, который произведен путем извлечения экстрактивных веществ с помощью питьевой воды из высушенных или свежих плодов облепихи. При этом сок не может быть получен с использованием механической обработки. Таким образом можно повысить выход сока до 80 – 90 % [30].

Производство облепихового диффузионного сока (рис. 1.3) начинается с первоначальной подготовки сока путем экстракции (диффузии) плодов или мезги (частично отпрессованного сырьевого материала). После чего мезгу разбавляют теплой или холодной чистой водой и затем отжимают. Полученный разбавленный сок отчищают и осветляют. С целью продления срока годности сок подвергают деаэрации путем однократного нагревания до температуры 60 – 70 °С [61].



Рисунок 1.3 – Этапы производства облепихового диффузионного сока

Данный сок может служить сырьем для производства концентрированных

и восстановленных соков [21]. Диффузионный метод получения облепихового сока используется редко, поскольку он требует добавления воды, что приводит к разбавлению продукта. Кроме того, процессы концентрирования, восстановления и промежуточного нагрева вызывают заметное снижение ценности готового продукта вследствие возможных изменений компонентов, их потерь или образования новых веществ. При хранении соков после тепловой обработки могут ухудшаться органолептические показатели, а также снижаться биологическая и пищевая ценность. Наибольшим изменениям подвержены белковые, красящие и ароматические вещества, а также витамин С, однако при этом повышается усвояемость углеводов, особенно клетчатки и пектиновых соединений.

По механическому составу облепиховый сок подразделяется на соки с мякотью, осветленные и неосветленные [116]. Учитывая высокое содержание полезных веществ в облепихе, сок из ее ягод рекомендуется производить с мякотью для сохранения биологически активных компонентов, поскольку при производстве сока без мякоти происходят их потери. [111].

Облепиховый сок с мякотью производят разных видов: натуральный, с сахаром и купажированный. Процесс производства состоит из следующих технологических операций: подготовка и измельчение сырья, распаривание мякоти облепихи путем подогрева до температуры 70 – 75 °С. Подогрев осуществляется в шнековых подогревателях или дигесторах (установка для окислительного разложения твердых и жидких органических образцов под давлением в закрытой системе). Из подогретой горячей массы сепарируют с помощью фильтрующих центрифуг сок с частицами мякоти. Полученный сок с мякотью пропускают через измельчитель для более тонкого дробления мякоти [42].

Роторы на фильтрующих центрифугах должны иметь сита с круглыми отверстиями диаметром 0,06 – 0,10 мм. Извлеченный сок направляют в финишер с ситами, имеющими отверстия диаметром 0,04 мм. Содержание мякоти в соке должно отвечать требованиям, установленным стандартом. В финишере для предотвращения аэрации сока создают паровую завесу с помощью подачи острого

пара. Для предотвращения потемнения сока при переработке светлоокрашенных плодов в измельчитель добавляют 5 – 10 %-й раствор аскорбиновой кислоты [62].

Купажированные соки получают смешением разных соков. Многие натуральные соки (фруктовые, овощные, ягодные) непригодны для употребления в чистом виде, т. к. они могут быть очень кислыми или, наоборот, пресными. Для улучшения пищевых и вкусовых качеств соков их смешивают с другими соками, т. е. купажируют.

Полученный купажированный сок гомогенизируют при давлении 15 – 17 МПа с целью достижения размеров частиц мякоти не более 1 мкм. После гомогенизации производят деаэрацию сока при температуре 35 – 40 °С в течение 10 мин путем понижения остаточного давления среды до 600 – 800 Па [12].

В соответствии с данной схемой можно организовать производство всех видов облепихового сока на одном предприятии.

Деаэрация – процесс удаления растворенного в соке кислорода, который оказывает негативное влияние на срок хранения облепихового сока. Количество кислорода в нем должно быть не более 1,4 мг O<sub>2</sub>/л [43].

На основании приведенных результатов аналитического исследования была разработана классификация схем получения облепихового сока разных видов (рис. 1.4) [88].

Для изготовления свежавыжатого облепихового сока подготовленные ягоды измельчают и отжимают. Если смешать его с другими видами соков и добавить такие операции, как гомогенизация, деаэрация и нагревание можно получить купажированный сок. Такой сок будет отличаться наличием необходимых витаминов и обладать приятным вкусом.

Облепиховый сок прямого отжима можно получить путем ввода стадий осветления и деаэрации сока, полученного после отжима измельченных ягод.

Также на этом производстве из плодов облепихи можно получить сок с мякотью, который является наиболее популярным среди потребителей. Для

его производства полученный после механического воздействия сок нагревают, производят отделение сока с частицами, затем для более тонкого дробления его отправляют в дробилку и фильтруют. Чтобы получить более сладкий облепиховый сок с мякотью, после фильтрации в него добавляют сахар [129].

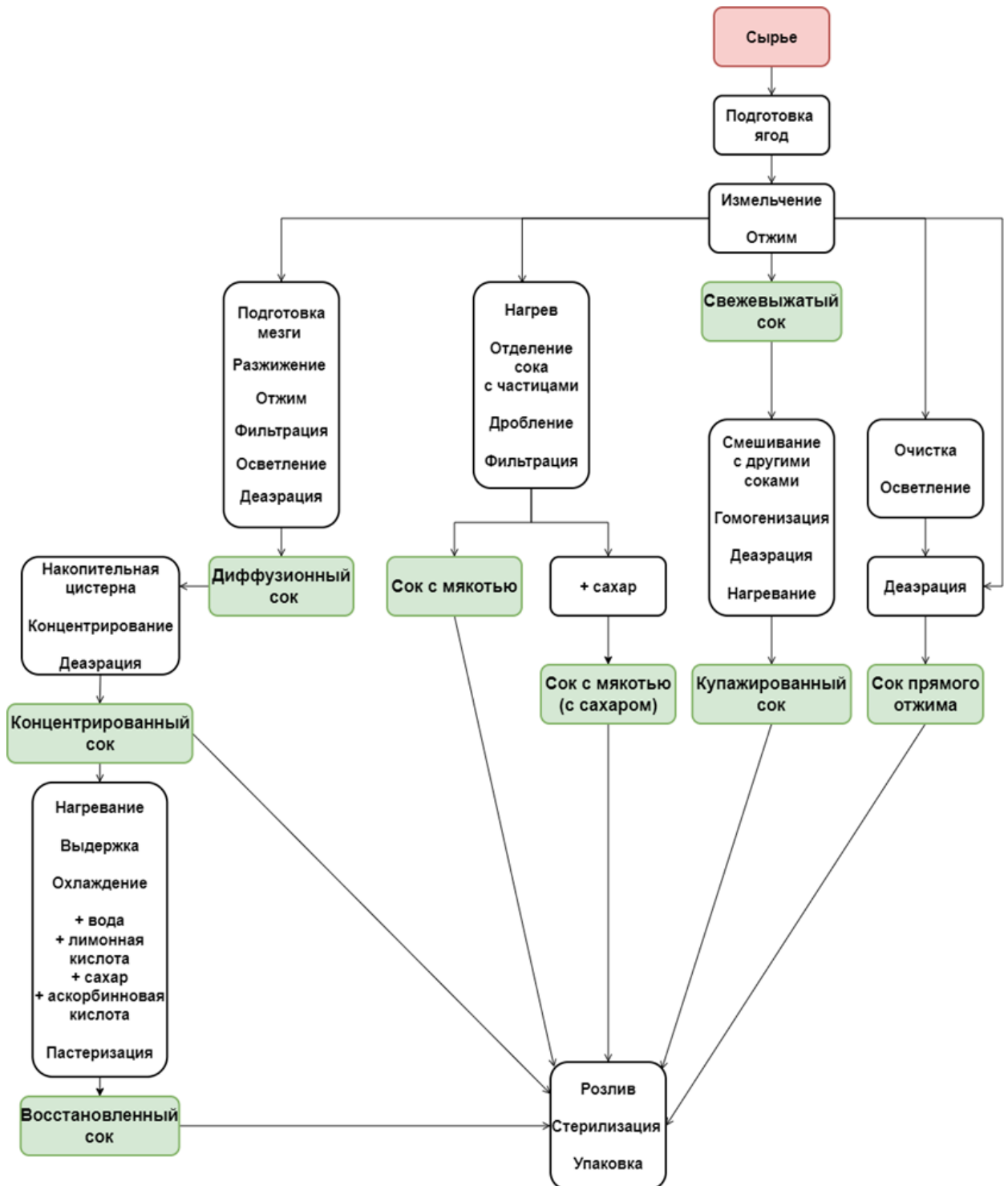


Рисунок 1.4 – Классификация схем получения облепихового сока разных видов

Для увеличения выхода сока до 80 – 90 % мезгу, в которой еще присутствует некоторое количества сока, промывают теплой или холодной водой и отжимают. Полученный разбавленный облепиховый сок фильтруют, осветляют и подвергают деаэрации, получая облепиховый диффузионный сок. Этот сок может быть использован для производства концентрированного сока. Для этого его направляют в накопительную цистерну и далее на концентрирование, которое может осуществляться разными способами: выпариванием, с помощью мембранной технологии или вымораживанием. Вымораживание протекает в две стадии: кристаллизация и сепарирование.

Из концентрированного сока можно получить восстановленный облепиховый сок. Для этого концентрированный сок нагревают, выдерживают и охлаждают, далее добавляют воду, лимонную кислоту, сахар и аскорбиновую кислоту. Готовый облепиховый сок различных видов разливают по тарам, стерилизуют и упаковывают.

### **1.3.2 Технологии и аппаратное оформление процесса извлечения облепихового масла**

Облепиховое масло представляет собой важнейший продукт переработки плодов облепихи. Высокая физиологическая и регенеративная активность, а также радиопротекторные, антиоксидантные и иммуномодулирующие свойства обуславливают его ценность как фармацевтического и косметического средства. Биологическая ценность масла определяется содержащимися в нем токоферолами, стеринами, каротиноидами, жирными кислотами и другими биологически активными соединениями [100, 105]. При этом фармакологические свойства и биологическая ценность облепихового масла зависят не только от анатомических и генетических особенностей сырья, но и от технологии его получения.

В настоящее время ключевым нормативным документом,

определяющим качество облепихового масла и, соответственно, технологию его производства, служит фармакопейная статья ФС 42-1730-86. Данный стандарт регламентирует содержание каротиноидов в масле на уровне не ниже 180 мг%. От этого показателя напрямую зависят выход готовой продукции и экономическая эффективность производства. Поэтому оценка пригодности сырья для получения облепихового масла осуществляется на основании содержания в нем каротиноидов.

Производство облепихового масла осуществляется несколькими технологическими методами: прессованием, диффузией и экстракцией. В качестве сырья могут использоваться свежие, замороженные, ферментированные или сухие плоды, а также сухой жом с семенами и без семян, семена и оболочки. [112].

#### Прессовый способ получения облепихового масла.

Получение облепихового масла методом прессования обеспечивает производство натурального продукта, физико-химические и биохимические характеристики которого соответствуют естественному составу липидов и липидорастворимых веществ, содержащихся в мякоти плодов и/или семенах облепихи.

Облепиховое масло прессованием можно получить двумя способами. Суть первого способа заключается в выделении масла вместе с соком из плодов облепихи путем двукратного прессования сырья [107]. Отделение маслосодержащей массы от сока производят отстаиванием и декантацией в отстойной батарее или центрифуге. Окончательное отделение масла происходит в сепараторе. Выход масла при этом, в зависимости от содержания его в сырье и режима промывки, не превышает 10 %. Основное количество масла остается в жоме. Жом содержит 15 – 27 % масла, 12 – 16 % каротина, 45 – 55 % семян, 4 – 7 % влаги [101].

При другом подходе масло выделяют прессованием из сухого жома, который сушат после выделения сока под вакуумом при температуре не

более 70 °С до полного удаления влаги. Сухой жом подают в пресс, где из него под давлением (5 – 10) атм выделяют масло. Кислотное число полученного масла не превышает 5 мг КОН/г.

При исследовании кислотного состава масла Д.А. Ободовская определила в масле семян 47,6 % линолевой и 18,35 % линоленовой кислот, представляющих фактор витамина F [56].

По мнению Ж.И. Гатина содержание в масле из семян факторов витамина F наряду с высоким содержанием витамина E свидетельствует о значительной его биологической ценности и целесообразности использования семян облепихи при комплексной ее переработке [13].

#### Диффузионный способ получения облепихового масла.

Диффузионный метод получения облепихового масла был впервые разработан и апробирован на Бийском витаминном заводе в 1953 году [50]. Технология включает сушку жома, остающегося после отделения сока, с последующей экстракцией масла и липидорастворимых веществ из высушенного сырья растительным маслом в диффузионных батареях, работающих по принципу противотока. В батарею подается растительное масло, нагретое до 50 °С. Процесс экстракции, протекает при температуре 50 – 65 °С, давлении 2 – 3 атм, продолжительность диффузии составляет 2 часа, полный цикл работы батареи составляет 24 часа. Готовое диффузионное масло отбирают из последнего диффузора каждые 2 часа, рассчитывая объем в зависимости от масличности жмыха и загрузки аппарата. Полученное масло фильтруют и направляют на расфасовку. Жмых, в котором остается до 50 % растительного масла, подвергают прессованию на шнековых прессах; выделенное масло очищают и возвращают в технологический цикл. Данный метод позволяет получить продукт с 90 %-й концентрацией целевых веществ, по показателям и фармакологическим свойствам приближающийся к натуральному облепиховому маслу.

По органолептическим показателям диффузионное масло отличается

от прессового – оно почти лишено аромата, что связано со значительной потерей эфирных масел. В диффузионном масле содержание эфирных масел составляет 0,58 %, в прессовом – 0,93 %.

Экстракционный метод получения облепихового масла.

Экстракционный метод – единственный, гарантирующий полное извлечение масла из растительного сырья.

Экстрагируют облепиховое масло двумя способами:

- 1) экстракцией сухого жом растительным маслом;
- 2) экстракцией мякоти плодов или отдельно семян органическими растворителями.

По первому способу используют жом плодов облепихи после отделения из них сока. Жом высушивают в вакуум-вальцовой сушилке и в виде «лепестка» подают на экстрагирование, которое проводят методом противотока в батарее экстракторов-перколяторов, снабженных паровыми рубашками. В рубашку подают горячую воду. Высушенный жом в мешках из фильтрующей ткани загружают в предварительно нагретые экстракторы. В первом экстракторе сырье настаивают с подсолнечным маслом при температуре 60 – 65 °С в течение 1,5 часа. Полученная вытяжка из первого экстрактора подается на сырье во втором экстракторе, а в первый подают свежее масло. Из второго экстрактора вытяжку передают в третий экстрактор, из третьего в четвертый и т.д. Свежее масло всегда подается в первый экстрактор. Когда из последнего перколятора получают масляный экстракт, соответствующий требованиям по содержанию каротиноидов и токоферолов, то первый экстрактор отключают. Из него сливают отработанное подсолнечное масло, называемое «концевым», и выгружают шрот. В первый экстрактор загружают свежее сырье (он становится головным), на которое подают вытяжку из последнего экстрактора, а свежее масло подают на сырье во втором перколяторе, который теперь становится «хвостовым».

По второму способу в качестве сырья используют мякоть плодов без семян или отдельно семена. Для этого сухой жом подают в дробилку, из

которой измельченный материал передают в сепаратор, где путем продувки воздухом отделяют семена от мякоти и ведут их отдельную переработку.

Обработку мякоти и семян осуществляют с применением метода циркуляционного экстрагирования в аппарате типа Сокслета. Экстракцию ведут 4-5-кратным количеством хлористого метилена при температуре около 40 °С, остатки растворителя из экстрактора удаляют в вакуум-аппарате в присутствии небольшого количества воды, которая способствует удалению экстрагента при более низкой температуре, т.к. отгоняется смесь взаимно нерастворимых жидкостей (хлористый метилен и вода). Для предотвращения процесса окисления упаривание ведут в вакуум-выпарном аппарате в среде углекислого газа. Метод позволяет увеличить выход масла с повышенным содержанием каротиноидов и меньшим количеством свободных жирных кислот. Получение масла облепихи может быть проведено экстрагированием сжиженным хладоном-12, гексаном, петролейным эфиром и др.

Авторами [38] были проведены исследования экстракции облепихового масла различными методами. Показано, что выход зависит от способа получения, а наибольший выход составляет 96 % с помощью экстракции гексаном.

Облепиховое масло, полученное экстракционным путем, также как и диффузионное облепиховое масло, безвредно, может храниться в течение 40 суток на холоде без изменения состава биологически активных веществ [102]. Хранение в течение 40 суток при комнатной температуре и на свету приводит к значительным потерям каротиноидов, причем более значительным при хранении на свету, чем при хранении в условиях повышенной температуры. При выработке облепихового масла одновременно с облепиховым соком еще одним продуктом, содержащим липиды и липидорастворимые вещества (содержание масла – 45 %, каротиноидов 125 мг%, токоферолов 80 мг%), является плодовая мякоть,



промышленности. Кратковременная обработка плодов импульсным электромагнитным полем сверхвысокой частоты (ИЭМП СВЧ) способствует повышению проницаемости кожицы плодов и увеличению выхода сока. Обработка подготовленных плодов на ленточном прессе позволяет увеличить выход сока от 64 % до 70 % с содержанием сухих веществ 12 – 14 %. Сушка выжимок плодов осуществляется с помощью ИЭМП СВЧ частотой  $2700 \pm 50$  МГц, мощностью 400 – 500 Вт, продолжительностью 1 – 2 мин. Полученный сок пастеризуется в СВЧ-камере. Выжимки, оставшиеся после отжима сока, сушатся, из них извлекаются экстрактивные вещества жидким CO<sub>2</sub>, и получается пищевая добавка путем резкого сброса давления.

Такая технология экономически нецелесообразна и поэтому не нашла практического применения.

На рис. 1.6 представлена схема комплексной переработки основных частей облепихи, предложенная О. Я. Мезеновой и др. [50].

Схема комплексной переработки основных частей облепихи, построена на концепции безотходного производства и максимального использования биологического потенциала сырья. Она представляет собой технологическую цепочку, начинающуюся с операции сортировки исходного сырья, в ходе которой облепиха разделяется на две целевые фракции: ягоды и веточки. Данное разделение является важным, поскольку позволяет осуществлять направленную переработку каждой части растения с извлечением специфических групп биологически активных веществ (БАВ).

Ягоды протирают и отделяют мезгу, из которой получают ряд пищевых продуктов (клетчатка, витаминный комплекс, масло). Отделенный на этапе протирания сок становится сырьем для двух направлений: часть сока направляется на производство облепихового вина с уникальными органолептическими и биохимическими свойствами, а другая часть подвергается концентрированию и сушке с получением двух продуктов –

облепихового порошка, используемого в качестве универсальной пищевой добавки, и стандартизированного концентрата.

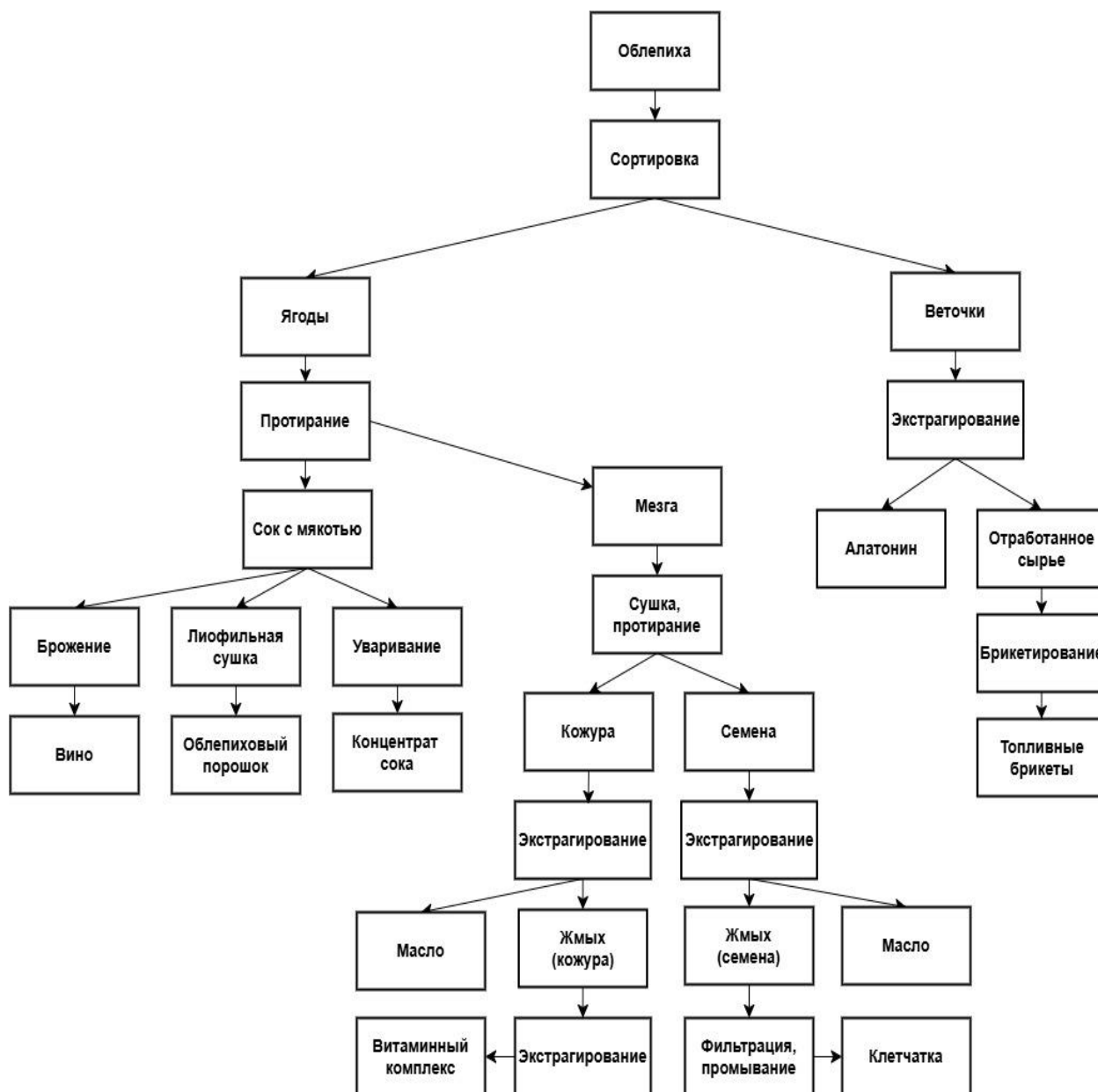


Рисунок 1.6 – Схема переработки основных частей облепихи, предложенная О. Я. Мезеновой и др.

Веточки экстрагировали 25 %-ым водным раствором этилового спирта и получали натуральный аллантоин. Важным элементом данной схемы является завершающая стадия утилизации: отработанное после экстракции сырье не выбрасывается, а прессуется в топливные брикеты, что делает производственный цикл полностью безотходным и соответствует принципам

циркулярной экономики.

На рис. 1.7 представлена схема комплексной переработки ягод облепихи, предложенная А. Н. Семиным и др. [68].

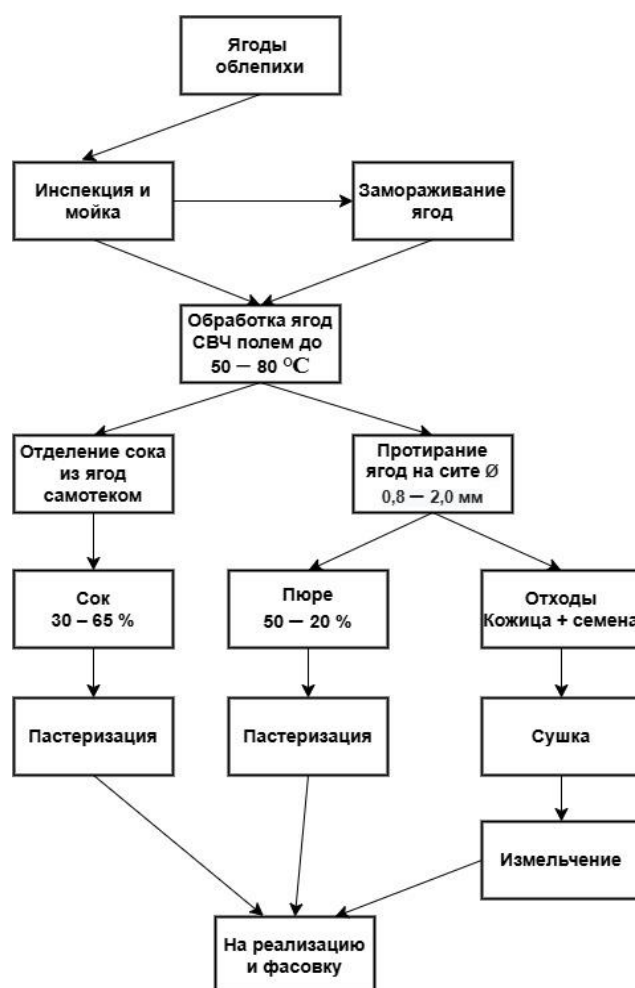


Рисунок 1.7 – Схема комплексной переработки ягод облепихи, предложенная А. Н. Семиным и др.

Предложенный способ комплексной переработки облепихи заключается в предварительной подготовке ее ягод, обработке СВЧ-полем частотой  $2450 \pm 50$  МГц с прогревом до температуры в массе ягод от 50 до 80 °С, отделении сока, кожицы и семян. Отделенные кожицу и семена используют отдельно, досушивая и измельчая для получения дополнительной продукции, или используют как добавку в комбикорма.

Согласно схеме, замороженные плоды облепихи направляют на вакуумную сушку, затем сухую ягодную массу дробят. Измельченную

ягодную массу экстрагируют жидкой углекислотой. Абсолютное облепиховое масло гомогенизируют с персиковым маслом для снижения вязкости смеси, направляют в аппарат для капсулирования вместе с желатином и консервантом, затем направляют на фасовку. Обезжиренный шрот после углекислотной экстракции подают на дальнейшую переработку.

### **1.3.3 Технологии и аппаратное оформление процесса извлечения ценных продуктов из неплодовой части облепихи**

Существуют исследования, посвященные экстрагированию биологически активных веществ из отдельных частей облепихи (коры, листьев, побегов, древесины и семян). Основной часть работ ориентирована на получение лекарственных препаратов на основе выделенных компонентов, а также на изучение их фармакологической значимости: оцениваются антиоксидантные, противовоспалительные, иммуномодулирующие, регенеративные и другие свойства. При этом комплексному использованию всего растительного сырья, остающегося после переработки плодов, уделяется недостаточно внимания.

В исследовании авторов О.Н. Толкачева, О.П. Шейченко и др. [65] получают «Гипорамин» из листьев крушиновидной облепихи с содержанием галло- и эллаго-танинов более 20 %. В данном патенте использовался метод форэкстракции полярным органическим растворителем с последующим извлечением ценных компонентов водным органическим растворителем. Данная разработка позволяет использовать листья облепихи крушиновидной как культивируемой, так и дикорастущей, а также растений других сортов вне зависимости от географического произрастания и сезона сбора.

Научная разработка Одинца А.Г. [72] основана на способе получения порошка с биологически активными веществами, полученного из побегов облепихи. Патент подразумевает мелкое измельчение побегов облепихи вместе с аскорбиновой кислотой (рисунок 1.8), в результате чего образуется

порошок с содержанием серотонина до 1,1 %. Тем самым упрощается технология производства и увеличивается производительность.

Результаты, полученные в исследовании [73], также основываются на получении порошкового препарата с содержанием серотонина. В качестве объекта исследования используются неплодовые части облепихи, а именно: молодые веточки, побеги и листья. Экстракция проводилась водным раствором пищевой кислоты (адипиновой, ортофосфорной, яблочной, аскорбиновой, янтарной и уксусной) в ультразвуковой ванне при температуре до 40 °С. Препарат получали в результате распылительной сушки. В результате концентрация серотонина в порошке составила более 2 %.



Рисунок 1.8 – Схема получения порошка с БАВ из побегов облепихи

В работе Кулакова А.В. [74] рассматривается экстракция древесной зелени, в том числе и листьев облепихи, с целью получения препарата фенольной природы. Способ основывается на экстрагировании зелени водой при температуре до 80 °С под давлением 0,1 – 1,0 кгс/см<sup>2</sup> при постоянном перемешивании. Далее растворитель повторно обновляют и экстрагируют при тех же условиях. Выпаривание полученного экстракта

осуществляют в вакуумно-выпарном аппарате при температуре до 80 °С при вакууме 0,05 – 0,9 кгс/см<sup>2</sup>, далее концентрат охлаждают и центрифугируют. Изобретение обеспечивает высокий выход БАВ фенольной природы, увеличивается выход полифенолов, флавоноидов и других ценных компонентов.

Те же авторы провели исследование [63], которое также относится к добавкам для косметических препаратов. Для получения конечного продукта используются листья алтайской облепихи и биомассы родиолы розовой в равном соотношении. В качестве экстрагента используется 50 – 70 %-ый водноспиртовой раствор, экстракцию проводят дважды с продолжительностью 45 – 50 ч. Полученный продукт при добавлении в косметические средства в количестве 3 – 5 % способен снижать уровень липидов на 19,5 – 21,4 %.

Научные результаты Л.С. Бекасова, представленные в работе [64], основаны на получении облепихового масла из плодов с добавлением высушенных листьев облепихи и лекарственных трав с целью увеличения физиологически активных компонентов. Экстракцию проводят в растительном масле, нагретом до 50 °С в течение 8 ч. Такой способ экстракции позволяет получать облепиховое масло с большим количеством БАВ с использованием меньшего количества плодов, снижая себестоимость продукции до 1,5 – 2 раз.

Известен способ получения биологически активной добавки к косметическим средствам. В 1994 г. Рохленко С.Г. и др. предложили свой способ [63], где в качестве растительного сырья используют листья алтайской облепихи. Экстракцию проводят 50 %-ным водно-спиртовым раствором два раза, при комнатной температуре в течение 45 – 50 ч. Данный способ позволяет получить продукт высокой биологической активности. Если ввести его в косметический продукт, то он будет способствовать коррекции белково-липидного обмена.

Проведенный аналитический обзор подтвердил, что облепиха является

ценным полифункциональным сырьем, все части которого содержат комплекс биологически активных веществ, востребованных в пищевой, фармацевтической, косметической и сельскохозяйственной отраслях. Существует зависимость биохимического состава сырья от условий выращивания, что важно учитывать при переработке. Существуют различные технологии получения продуктов из плодов (соки, масла, концентрат) и неплодовых частей (серотонин, аллантиин, фенольные комплексы). Наиболее перспективным направлением является создание экономически целесообразных, ресурсосберегающих и безотходных комплексных технологий, обеспечивающих максимальное извлечение и сохранение БАВ, что определяет актуальность дальнейших экспериментальных исследований.

## ГЛАВА II. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОБЛЕПИХИ

### 2.1 Физическая картина процесса комплексной переработки облепихи

Физическая картина процесса комплексной переработки облепихи представляет собой последовательность операций, направленных на разделение сложной многокомпонентной системы (сырья облепихи) на чистые фракции. Начинается процесс (см. рис. 2.1) с механического разделения компонентов в сепараторе, где плоды отделяются от веток благодаря различию в их размере, форме и прочности связи. Далее плоды подвергаются мойке, где гидродинамическое воздействие потока воды смывает загрязнения, и диспергированию – механическому разрушению мякоти плодов при сохранении целостности семян.

Выделение сока происходит в шнековых прессах за счет приложения механического воздействия, выдавливающего жидкую фазу из твердого жома. Промывкой жома теплой водой получается диффузионный сок. Далее происходит концентрирование диффузионного сока в выпарном аппарате – это классический процесс тепло- и массообмена, где нагрев приводит к фазовому переходу – испарению воды, повышая концентрацию сухих веществ.

Сушка жома для отделения семян осуществляется конвекцией, где потоком горячего воздуха создаются условия для интенсивного конвективного теплообмена и эффективного разделения семян и жома. Последующее извлечение масла холодным отжимом ведется за счет разрушения клеточных структур приложением механического воздействия.

Наиболее сложным физико-химическим процессом является экстракция. Это массоперенос, основанный на растворении остаточного масла в органическом растворителе. Интенсифицируется процесс за счет перемешивания, прогревания и многостадийной противоточной схемы, где

свежий растворитель контактирует с отработанным жомом. Регенерация растворителя основана на дистилляции – разделении смесей за счет разницы температур кипения компонентов.

Переработка неплодовой части включает стадии промывки, сушки, измельчения и обработку в автоклаве, где конденсирующийся насыщенный пар под высоким давлением размягчает структуру сырья. Таким образом, вся технологическая цепочка представляет собой комплексное использование фундаментальных физических принципов для эффективного и рационального разделения биологического сырья.

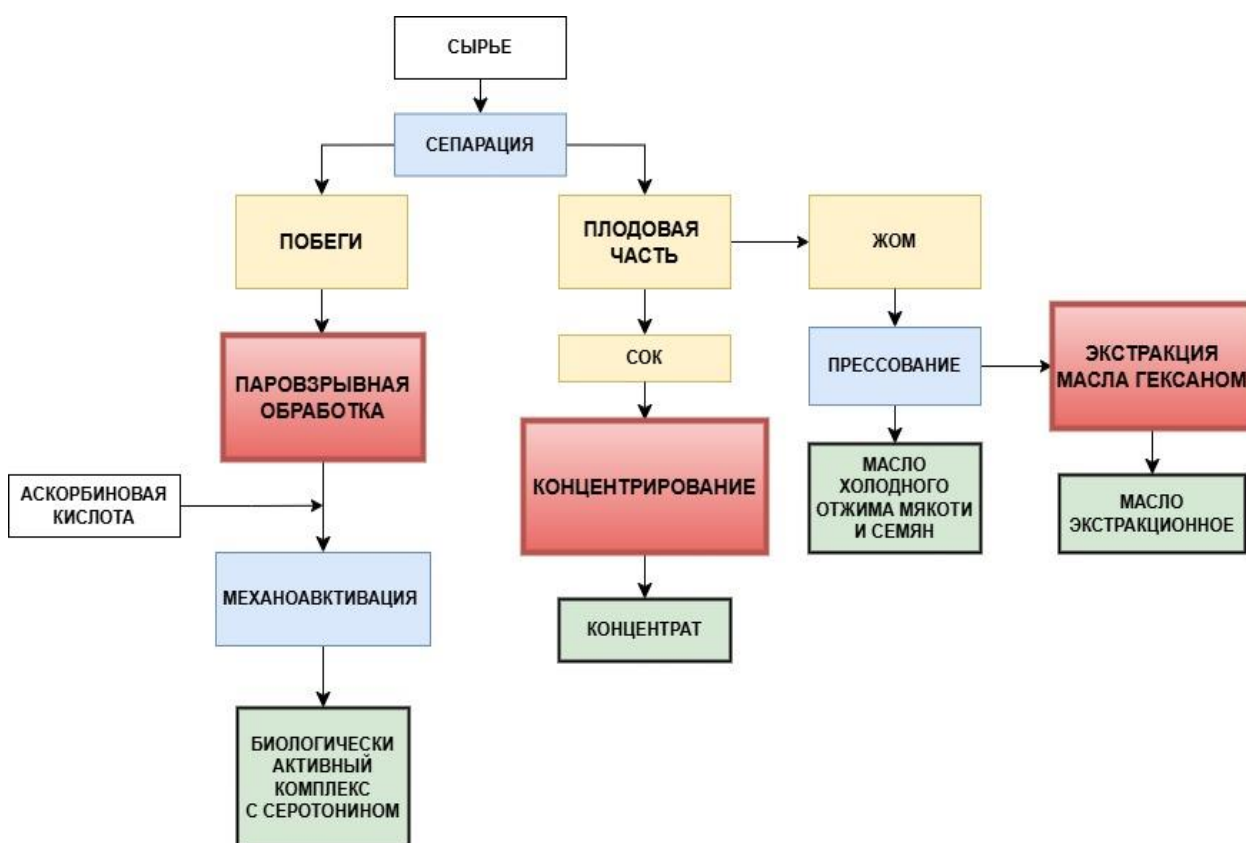


Рисунок 2.1 – Схема комплексной переработки облепихи

Таким образом, комплексная переработка облепихи включает три ключевых тепло-массообменных процесса: паровзрывную обработку побегов, концентрирование диффузионного сока и экстрагирование масла из жома (мякоти и семян).

## **2.2 Математическое описание массообменных процессов при комплексной переработке облепихи**

### **2.2.1 Формализация процесса**

Физическая картина процесса получения биологически активных продуктов из облепихи представлена совокупностью различных процессов, описываемых различными закономерностями тепломассопереноса и диффузионных явлений в системах «жидкость - твердое тело». Математическое описание процессов получения биологически активных веществ из облепихи довольно сложное [113]. Для упрощения математического описания и моделирования данных процессов принимаются следующие допущения, упрощающие кинетику процесса:

1. Сырье является однородным по составу.
2. Предварительно измельченные частицы имеют одинаковый геометрический размер.
3. Отпрессованные жом и семена рассматриваем как бесконечную симметричную пластину.
4. Растворитель и сырье взаимно нерастворимы.
5. Процессы пропитки и экстракции проходят одновременно.
6. Процесс экстракции протекает в режиме идеального смешения.
7. Концентрацию растворителя в частице на ее поверхности считаем равной концентрации биологически активных веществ в растворе.
8. Считаем температуру поверхности частицы равной температуре экстракта.

### **2.2.2 Математическое описание теплообменных процессов при получении биологически активного комплекса с серотонином**

Процесс насыщения сырья влагой и теплом для одномерной частицы

можно описать системой дифференциальных уравнений А.В. Лыкова [46]:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + a_T \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}; \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a_T \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \quad (2.2)$$

Начальные условия зависят от начальной температуры и влажности сырья:

$$U(x, 0) = U_H; \quad T(x, 0) = T_H. \quad (2.3)$$

Граничные условия для уравнения (2.1) определяются максимальной гигроскопичностью сырья:

$$U(0, \tau) = U_{\text{гигр}}. \quad (2.4)$$

Граничное условие для уравнения (2.2) зависит от давления водяных паров в автоклаве и определяется из уравнения Антуана [85]:

$$P = \exp\left(A - \frac{B}{T + C}\right) \quad (2.5)$$

соотношением:

$$T(0, \tau) = \frac{B}{A - \ln P_{\text{max}}} - C, \quad (2.6)$$

где  $U$  – влагосодержание, %;  $\tau$  – время, с;  $T$  – температура образца, °С;  $P$  – текущее давление среды, кПа;  $P_{\text{max}}$  – давление водяных паров в автоклаве, кПа;  $a_m$ ,  $a_T$  – коэффициенты, соответственно, массопроводности и температуропроводности, м<sup>2</sup>/с;  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – константы уравнения Антуана.

При попадании частиц из автоклава в выдувной резервуар происходит сброс давления. При этом поглощенная влага перемещается за счет градиента давления из частиц наружу. Этот процесс описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = k_p \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \quad (2.7)$$

при краевых условиях:

$$P(x, 0) = P_{max}; \quad P(0, \tau) = P_{в.р.}, \quad (2.8)$$

где  $k_p$  – коэффициент проницаемости,  $\text{м}^2/(\text{с}\cdot\text{кПа})$ ;  $P_{в.р.}$  – давление в выдувном резервуаре, кПа.

Для решения дифференциальных уравнений (2.1), (2.2) и (2.7) с заданными краевыми условиями (2.3), (2.4), (2.6), (2.8) применялся метод конечных разностей.

Величину влагосъема  $\Delta U$  при сбросе давления можно определить через уравнение теплового баланса:

$$(C_{в}U + C_{др})\Delta T = r\Delta U, \quad (2.9)$$

где  $C_{в}$ ,  $C_{др}$  – теплоемкость, соответственно, воды и древесины, кДж/кг

При атмосферном давлении в выдувном резервуаре имеем соотношение:

$$\Delta U = \frac{C_{в} + C_{др}U}{r} (T_{max} - 100^\circ\text{C}). \quad (2.10)$$

### **2.2.3 Математическое описание процесса концентрирования диффузионного сока**

Материальный баланс для однокорпусного выпарного аппарата записывается соотношением:

$$M_{дс} = M_{конц} + M_{вп}, \quad (2.11)$$

где  $M_{дс}$  – расход диффузионного сока, кг/ч;  $M_{конц}$  – расход упаренного сока (концентрата), кг/ч;  $M_{вп}$  – расход вторичного пара кг/ч.

Выход диффузионного сока составляет:

$$M_{\text{дс}} = nM, \quad (2.12)$$

где  $M$  – расход ягод облепихи [кг/ч];  $n$  – коэффициент выхода сока.

Средний выход диффузионного облепихового сока составляет 110 – 130 % от массы плодов облепихи.

Расход концентрата  $M_{\text{конц}}$  определяется по формуле:

$$M_{\text{конц}} = \frac{M_{\text{дс}} b_{\text{конц}}}{b_{\text{дс}}}, \quad (2.13)$$

где  $b_{\text{дс}}$  – концентрация диффузионного сока по жидкой фазе, %;  $b_{\text{конц}}$  – концентрация концентрата по жидкой фазе, %.

Концентрация диффузионного сока по жидкой фазе  $b_{\text{дс}}$  находится в пределах 90 – 95 % в зависимости от степени разбавления. Концентрация концентрата по жидкой фазе  $b_{\text{конц}}$  находится в пределах 30 – 50 % в зависимости от требований к конечному продукту.

Совместным решением (2.11), (2.12) и (2.13) находим расход вторичного пара:

$$M_{\text{вп}} = nM \left( 1 - \frac{b_{\text{конц}}}{b_{\text{дс}}} \right). \quad (2.14)$$

Расход первичного пара  $M_{\text{пп}}$  определяется из уравнения теплового баланса:

$$M_{\text{пп}} = \frac{M_{\text{вп}} r + M_{\text{дс}} C_c (t_k - t_n) + Q_{\text{п}}}{r}, \quad (2.15)$$

где  $r$  – скрытая теплота парообразования воды, кДж/кг;  $C_c$  – удельная теплоемкость диффузионного сока, кДж/(кг·°С);  $t_n$  – начальная температура диффузионного сока, °С;  $t_k$  – конечная температура концентрата, °С;  $Q_{\text{п}}$  – тепловые потери, кВт.

Тепловые потери  $Q_{\text{п}}$  составляют 3 – 5 % от расхода греющего пара  $Q_{\text{гп}}$ .

Расход энергии первичного пара, передаваемой через стенку для работы выпарного аппарата, рассчитывается по формуле:

$$Q_{пп} = kF_B \Delta t, \quad (2.16)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $\Delta t$  – средняя разность температур, °С;  $F_B$  – поверхность теплопередачи, м<sup>2</sup>.

С другой стороны расход энергии, отдаваемой паром при адиабатических условиях, определяется соотношением:

$$Q_{пп} = (M_{дс} - M_{конц})r + M_{дс}C_c(t_k - t_n), \quad (2.17)$$

где  $M_k, M_{дс}$  – расход, соответственно, концентрата и диффузионного сока, кг/с;  $r$  – скрытая теплота парообразования воды, кДж/кг;  $C_c$  – удельная теплоемкость диффузионного сока, кДж/(кг·°С);  $t_n$  – начальная температура диффузионного сока, °С;  $t_k$  – конечная температура концентрата, °С.

Средняя разность температур  $\Delta t$  в выпарном аппарате рассчитывается по формуле:

$$\Delta t = t_{пп} - t_{вп}, \quad (2.18)$$

где  $t_{пп}$  – температура первичного пара, °С;  $t_{вп}$  – температура кипения раствора в аппарате, °С.

Давление в выпарном аппарате и температура кипения диффузионного сока связаны уравнением Антуана [90]:

$$\lg P = A - \frac{B}{C + t_{вп}}, \quad (2.19)$$

где  $P$  – давление в выпарном аппарате, кПа;  $A, B, C$  – константы уравнения Антуана.

Преобразованием уравнения Антуана получается соотношение для определения температуры кипения раствора в выпарном аппарате в зависимости от остаточного давления в нем:

$$t_{вп} = \frac{B}{A - \lg P} - C. \quad (2.20)$$

Коэффициент теплопередачи  $k$  для выпарного аппарата при

естественной циркуляции диффузионного сока зависит от множества факторов, таких как конструкция аппарата, свойства теплоносителей, режим работы и т.д. [44].

## 2.2.4 Математическое описание процесса экстракции

Математическое описание нестационарного процесса экстракции масла из отпрессованных пластин орошением свежим экстрагентом можно записать дифференциальным уравнением Фика для бесконечной пластины:

$$\frac{\partial C_w}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 C_w}{\partial x^2} \quad (2.21)$$

при краевых условиях:

$$C_w(x, 0) = C_{wн}; \quad (2.22)$$

$$C_w(0, \tau) = 0, \quad (2.23)$$

где  $C_w$  – концентрация целевого компонента в отпрессованных пластинах, %;  $a_m$  – коэффициент массопроводности сырья, являющийся коэффициентом внутренней диффузии,  $m^2/c$ ;  $x$  – текущая координата частицы, м;  $\tau$  – текущее время, с.

Начальная концентрация  $C_{wн}$  определяется в результате исчерпывающей экстракции в аппарате Сокслета.

Кинетические зависимости средней концентрации облепихового масла в экстрагируемом сырье определяются косвенно – путем определения масла, переходящего из растительного сырья в экстракт. Поэтому вначале строится кинетическая зависимость концентрации масла в экстракте путем периодического отбора проб и удаления из этих проб экстрагента выпариванием и сушкой.

Решением дифференциального уравнения (2.19) совместно с краевыми условиями (2.20) и (2.21) в языковой среде программирования Python определяют динамические кривые локальной концентрации масла по сечению частицы растительного сырья:

$$C_w = f(x\tau). \quad (2.24)$$

Интегрированием зависимостей локальных концентраций масла по сечению в разные моменты времени по соотношению:

$$\bar{C}_w(\tau) = \frac{1}{a} \int_0^a C_w(\tau) dx, \quad (2.25)$$

получаем расчетную кинетическую зависимость средней концентрации облепихового масла в растительном сырье:

$$\bar{C}_w = f(\tau). \quad (2.26)$$

Во второй главе разработано математическое описание ключевых массообменных процессов комплексной переработки облепихи: паровзрывной обработки побегов, концентрирования диффузионного сока и экстракции масла из жома. На основе уравнений А.В. Лыкова, Фика и балансовых соотношений с применением метода конечных разностей получены модели, позволяющие количественно оценивать динамику влагосодержания, концентрации целевых компонентов и тепловые параметры. Представленные математические зависимости формируют расчетную основу для последующего проектирования и оптимизации технологических режимов.

## ГЛАВА III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 3.1 Описание экспериментального стенда для комплексной переработки облепихи

Для исследования процессов комплексной переработки облепихи был создан лабораторный комплекс. Данный комплекс состоит из набора стандартного сертифицированного исследовательского оборудования и отдельных уникальных установок.

Классификация оборудования экспериментального комплекса по видам проведенных исследований для комплексной переработки облепихи представлена на рисунке 3.1.

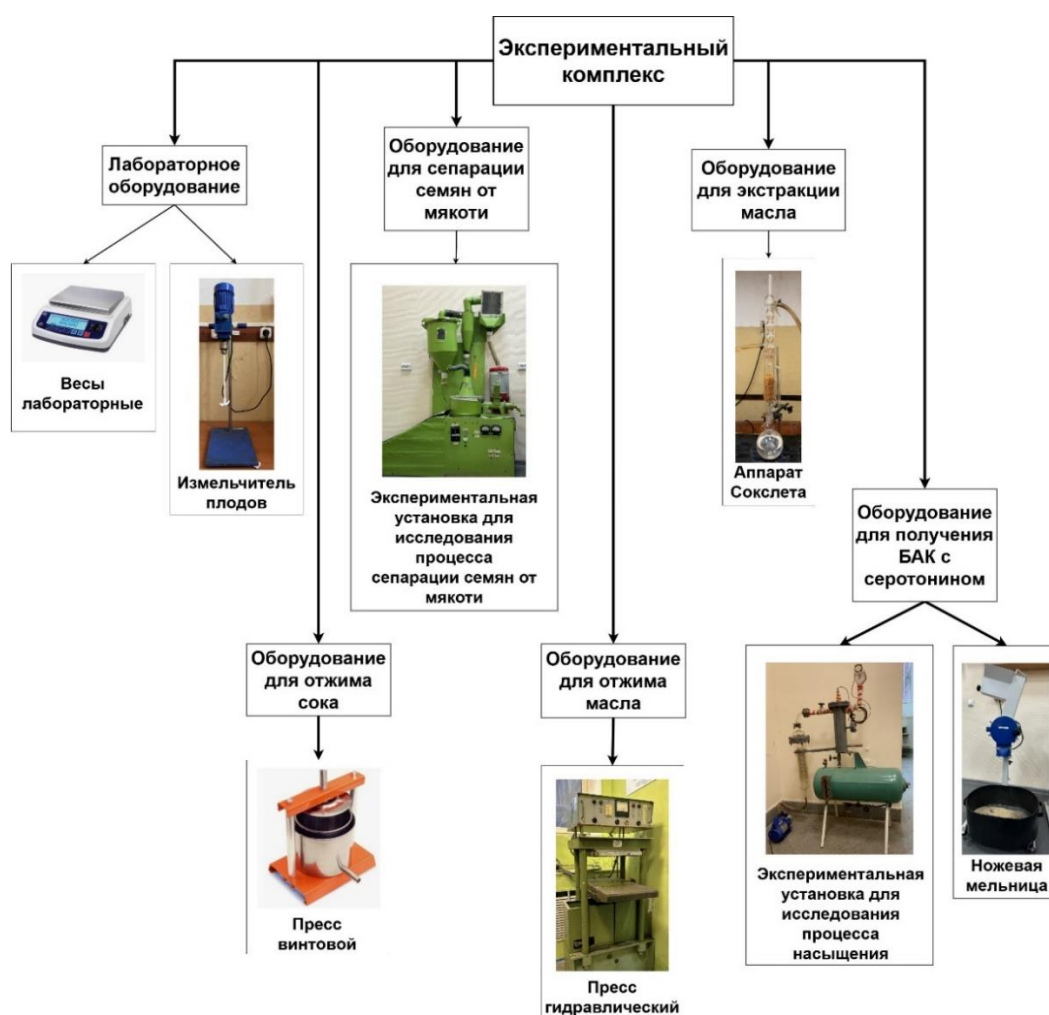


Рисунок 3.1 – Экспериментальный комплекс для исследований процесса комплексной переработки облепихи

Экспериментальный комплекс состоит из приборов контроля, оборудования для отжима сока, установки для сепарации семян от мякоти, оборудования для отжима масла, установки для экстракции масла и получения биологически активного комплекса.

### 3.1.1 Описание установки для сепарации облепихи на отдельные компоненты

Для исследования процесса сепарации облепихи на отдельные компоненты разработана экспериментальная установка, представленная на рисунке 3.2.

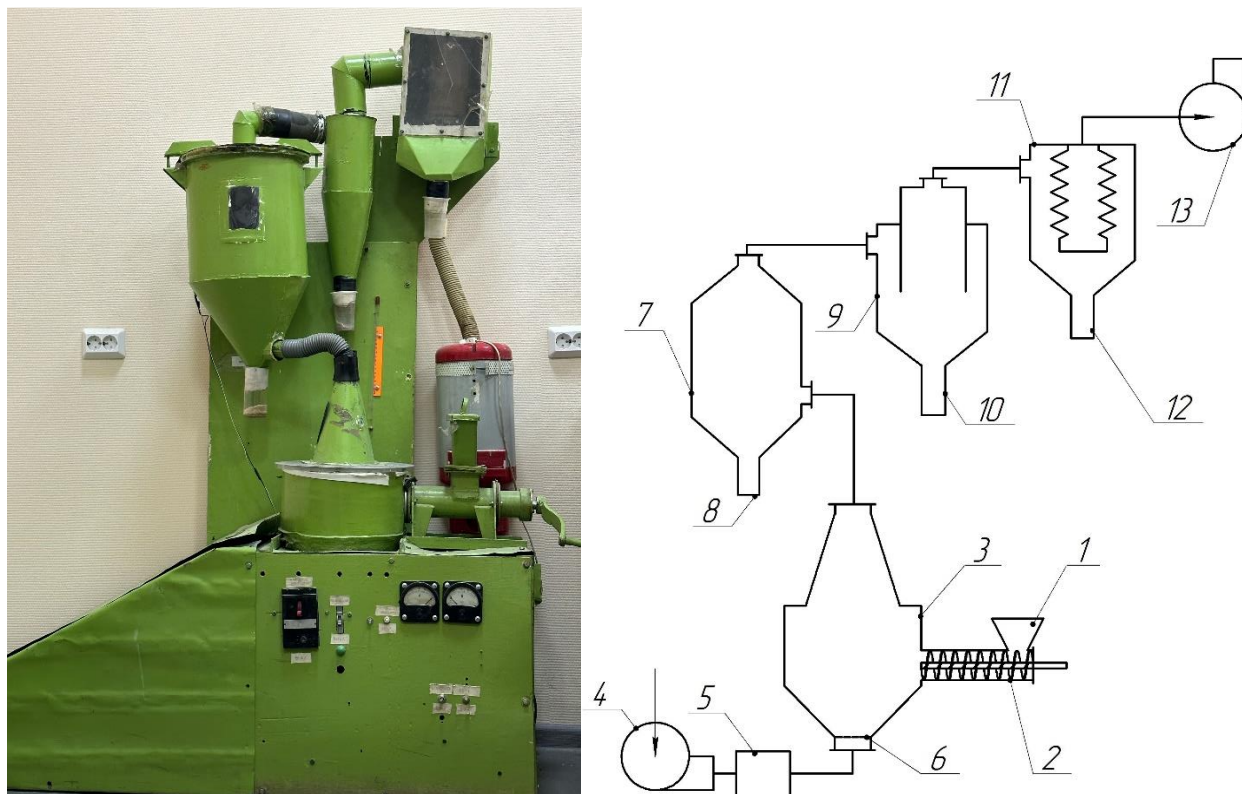


Рисунок. 3.2 – Схема установки для сепарации облепихи на отдельные компоненты: 1 – загрузочный бункер; 2 – шнек-пресс; 3 – конвективная сушилка с газораспределительной решеткой 6; 4, 13 – воздуходувки; 5 – калорифер; 7 – гравитационный осадитель; 10 – циклон; 11 – рукавной фильтр; 8, 10, 12 – емкости для сбора

Отделение семян от мякоти происходит следующим образом: через загрузочный бункер 1 и шнек-пресс 2 жом с семенами направляют в конвективную сушилку 3 и сушат в виброкипящем слое при температуре 50 – 60 °С до наступления режима пневмотранспортирования. Конвективная сушилка 3 имеет конусообразную форму для уменьшения конечной влажности семян и волокон за счет уменьшения скорости уноса по высоте конвективной сушилки 3. Сушку проводят воздухом, нагнетаемым и нагреваемом воздуходувкой 4 и калорифером 5. Газораспределительная решетка 6 удерживает влажный жом в конвективной сушилке 3. По мере высыхания компоненты жома теряют удельный вес и пневмотранспортируются из конвективной сушилки 3 отработанным теплоносителем в многоступенчатый воздушный сепаратор. Семена осаждаются в гравитационном осадителе 7 и собираются в емкости 8, волокна улавливаются циклоном 9 и собираются в емкости 10, пыль отбирается рукавным фильтром 11 и собирается в емкости 12.

### **3.1.2 Описание установки для исследования тепломассообменных процессов при производстве биологически активного комплекса с серотонином**

Для физического моделирования тепломассообменных процессов, сопровождающих паровзрывную обработку побегов облепихи, была разработана экспериментальная установка, схема которой представлена на рисунке 3.3.

Экспериментальная установка для исследования тепломассообменных процессов при влагопоглощении и сбросе давления включает: парогенератор 1, датчик давления 2, вентиль 3, автоклав 4, сбросной клапан 5, датчик температуры 6, крышку реактора 7, образец насыщаемого материала 8 в мешочке 9, теплоизоляцию 10.

Путем открытия вентиля 3 перегретый пар с температурой,

соответствующей заданному давлению (8, 9, 10, 11 Мпа) из парогенератора 1 по паропроводу подается в автоклав, в результате чего происходит тепловая обработка древесного материала в течение заданного времени.

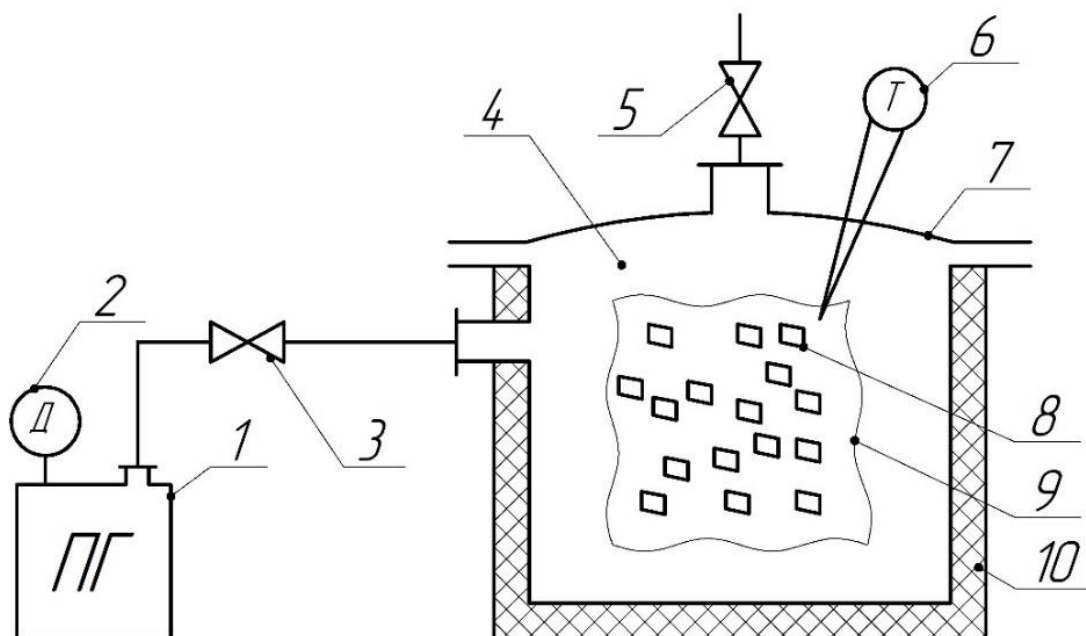


Рисунок 3.3 – Схема установки для паровзрывной обработки:  
1 – парогенератор; 2 – датчик давления; 3 – вентиль; 4 – автоклав;  
5 – сбросной клапан; 6 – датчик температуры; 7 – крышка реактора;  
8 – образец насыщаемого материала; 9 – мешочек; 10 – теплоизоляция

По истечении времени выдержки древесного сырья в автоклаве закрывается вентиль 3, и срабатывает сбросной клапан 5. Образующийся при этом градиент давления вызывает разволокнение сырья. Резкое открытие сбросного клапана позволяет достичь максимального градиента давления, что положительно сказывается на степени разволокнения измельченных побегов облепихи.

### 3.1.3 Описание установки для исследования процесса концентрирования сока

Для исследования процесса концентрирования диффузионного

облепихового сока и определения коэффициента теплопередачи в выпарном аппарате разработана экспериментальная установка, работающая под разрежением. Схема установки представлена на рисунке 3.4.

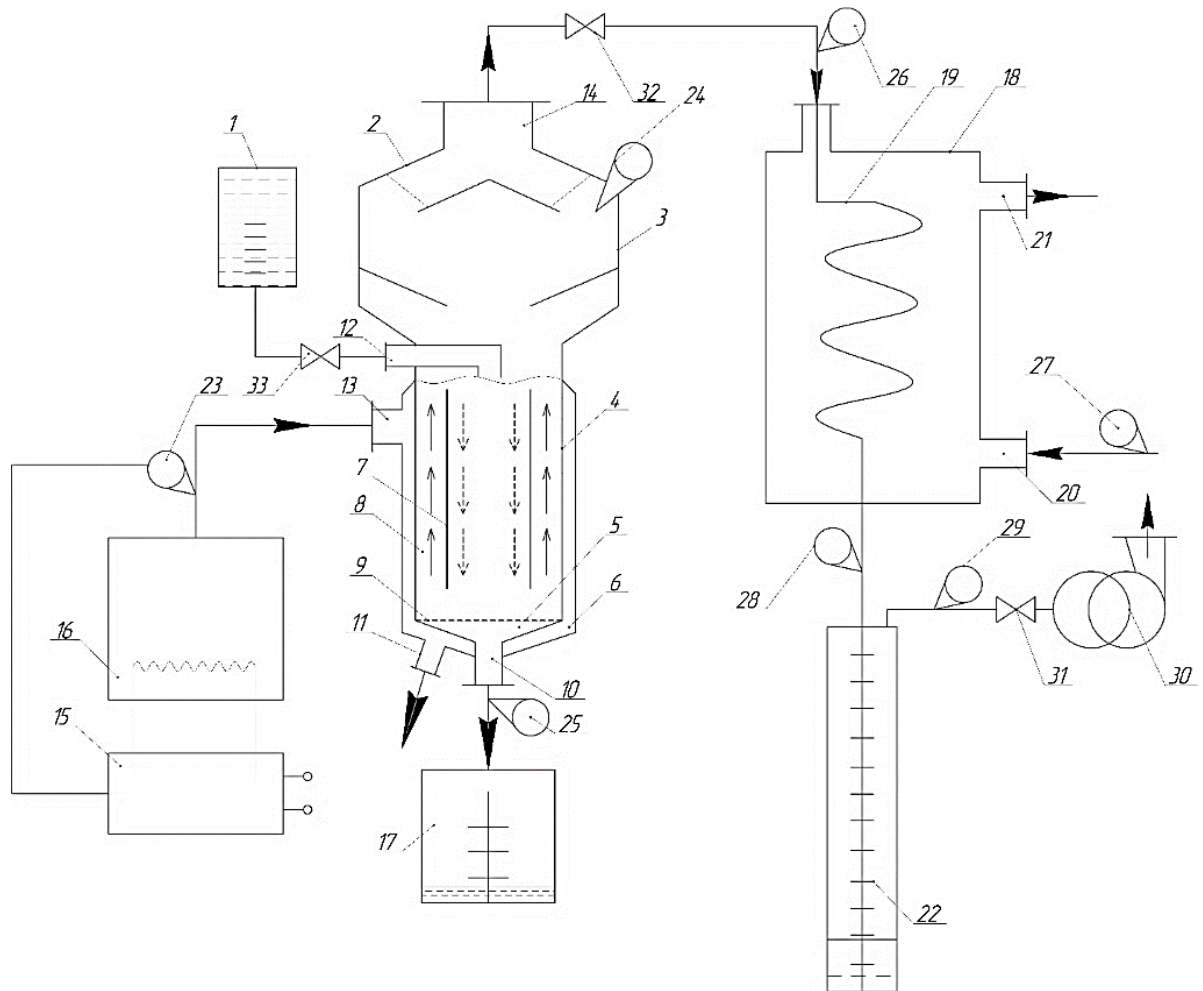


Рисунок 3.4 – Установка для исследования процесса концентрирования сока: 1 – мерник; 2 – выпарной аппарат; 3 – зона сепарации; 4 – рабочая зона; 5 – зона отбора концентрированного сока; 6 – рубашка; 7 – циркуляционная труба; 8 – межтрубное пространство; 9 – перфорированная решетка; 10, 11, 12, 13, 14, 20, 21 – патрубки; 15 – регулятор температуры; 16 – парогенератор; 17 – мерник концентрата; 18 – конденсатор; 19 – змеевик; 22 – мерник конденсата; 23 – 28 – датчики температуры; 29 – вакуумметр; 30 – вакуумный насос; 31, 32, 33 – вентили

Работа установки происходит в следующей последовательности: из мерника 1 через патрубок 12 в рабочую зону 4 выпарного аппарата 2 подают

диффузионный сок, где он нагревается до температуры кипения. Нагрев осуществляется с помощью пара, подаваемого из парогенератора 16 через патрубок 13 в рубашку 6. Температура первичного пара измеряется с помощью датчика температуры 23 и поддерживается с помощью регулятора температуры 15. Конденсат отводится через патрубок 11 в нижней части рубашки 6.

Диффузионный сок циркулирует внутри аппарата опускаясь, через циркуляционную трубу 7 и поднимаясь по межтрубному пространству 8, образуя нисходящие и восходящие потоки.

Выпариваемый раствор нагревается и кипит с образованием вторичного пара. Отделение пара от жидкости происходит в зоне сепарации 3. Вторичный пар удаляется из верхней части зоны сепарации 3 через патрубок 14. Температура вторичного пара измеряется датчиком температуры 24.

Упаренный сок удаляется из зоны отбора концентрированного сока 5 выпарного аппарата 2 через патрубок 10. В зоне отбора, за счет перфорированной решетки 9, создается ламинарное движение сока. Концентрат сливается в мерник концентрата 17.

Вторичный пар через патрубок 14 поступает в змеевик 19 конденсатора 18. Охлаждение вторичного пара происходит кондуктивно за счет циркуляции холодной воды, которая поступает в конденсатор 18 через патрубок 20 и выводится через патрубок 21. Температура циркуляционной воды поддерживается с помощью датчика температуры 27. Конденсат отбирается в мерник конденсата 22. В системе поддерживается вакуумный режим с помощью вакуумметра 29 и вакуумного насоса 30.

### **3.1.4 Описание установки для исследования процесса экстракции и определения коэффициента массопроводности**

Для исследования процесса экстракции и проверки адекватности математической модели была разработана экспериментальная установка, работающая в вакуумно-импульсивном режиме [27]. Схема и внешний вид

установки представлены на рисунке 3.5.

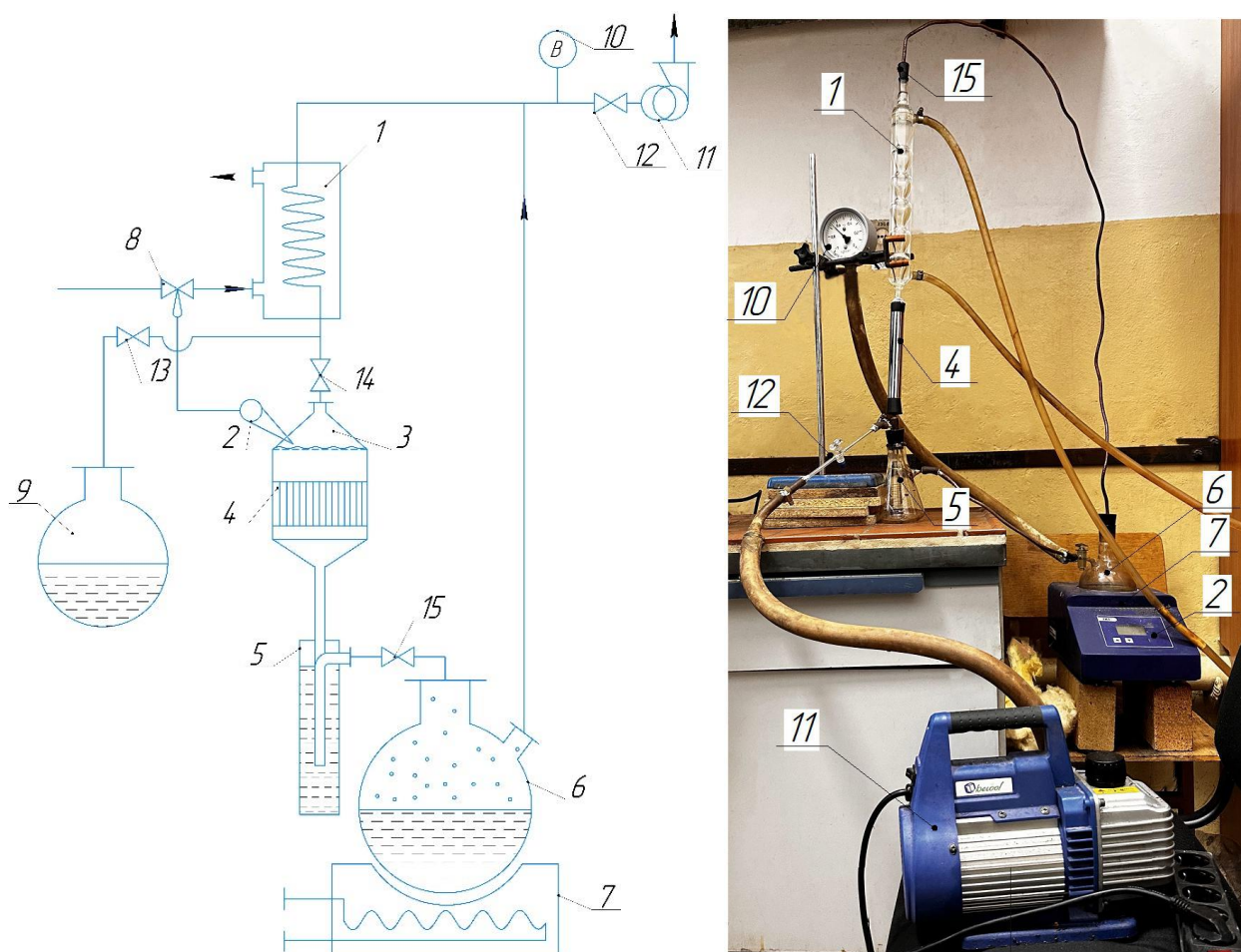


Рисунок 3.5 – Схема экспериментальной установки: 1 – конденсатор; 2 – датчик температуры; 3 – распределитель экстрагента по сечению; 4 – камера с растительным сырьем; 5 – гидрозатвор; 6 – колба с экстрактом; 7 – колбонагреватель; 8 – регулятор расхода хладагента; 9 – сборник экстрагента; 10 – вакуумметр; 11 – вакуумный насос; 12 – клапан; 13, 14, 15 – вентили

Извлечение остаточного масла из сырья осуществляется следующим образом: отпрессованные пластины жома мякоти и жома семян облепихи толщиной 1 мм загружают в камеру 4, экстрагент заливают в колбу 6 и буферную емкость - гидрозатвор 5. Температуру экстрагента поддерживают регулятором расхода хладагента 8, получающего информацию от датчика температуры 2. Перед проведением эксперимента из установки с помощью

вакуумного насоса 11 удаляют воздух и закрывают клапан 12, давление в системе измеряют вакуумметром 10. Экстракцию ведут 40 – 80 минут при открытом вентиле 13 и закрытом вентиле 14. В процессе экстракции по мере заполнения буферной емкости 5 открывают вентиль 15 и экстракт частично переливают в колбу 6.

После процесса экстракции для выделения масла из экстракта проводится вакуумное выпаривание гексана и сушка облепихового масла путем открытия вентиля 14 и закрытия вентиля 13. Выпаривание ведут при остаточном давлении 5 кПа в течении 60 минут.

### **3.2 Методика проведения экспериментальных исследований комплексной переработки облепихи**

#### **3.2.1 Методика сепарации облепихи на отдельные компоненты**

В качестве модельного материала для экспериментальных исследований были взяты свежие плоды облепихи, собранные осенью в Республике Татарстан.

Промытые плоды облепихи измельчают с сохранением целостности семян в колбе с лопастной мешалкой. Далее измельченную массу сепарируют на сок и плодовую мякоть путем фильтрации через отверстия диаметром 0,4 – 0,6 мм. Затем отделенную плодовую мякоть промывают дистиллированной водой и отжимают с целью удаления оставшихся сахаров и сока, получая при этом диффузионный сок. После процесса отжима плодовую мякоть сушат в конвективной сушилке кипящего слоя (см. рис. 3.2) при температуре 90 °С в течение 30 минут, затем при 60 °С до остаточной влажности 4 %. По мере высыхания компоненты плодовой мякоти теряют удельный вес и пневмотранспортируются из конвективной сушилки отработанным теплоносителем в воздушный сепаратор, при этом происходит отделение жома мякоти от семян облепихи. Отделенные семена

и жом мякоти подвергают холодному прессованию на гидропрессе при давлении 700 атм для выделения из них масла холодного отжима. В результате холодного прессования получают масло и пластины отпрессованного сырья из семян и жома мякоти.

### **3.2.2 Методика исследований теплообменных процессов при производстве биологически активного комплекса с серотонином**

Подготовка эксперимента заключалась в подготовке 48 одинаковых образцов по 100 гр измельченных сухих побегов облепихи, помещенных в проницаемые мешочки.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем:

1. в парогенераторной установке 1 создается заданное давление (0,8; 0,9; 1,0; 1,1 МПа);
2. в автоклав загружается по одному образцу в мешочке на заданное время обработки (0,5; 1; 2; 3 мин);
3. закрывается крышка 7 автоклава 1 и производится дополнительная теплоизоляция установки;
4. открывается вентиль 3 для подачи пара в автоклав 1;
5. фиксируется изменение температуры образца в реакторе с помощью хромель-копелевой термопары 6;
6. медленным стравливанием давления в автоклаве извлекаются образцы и определяется их влажность;
7. по результатам 16-ти испытаний строятся зависимости  $U = f(P, \tau)$ ,  $T = f(P, \tau)$ ;
8. для определения величины влагосъема образцы с известной влажностью помещают в автоклав 4 и нагревают паром до заданной температуры;
9. открытием сбросного клапана производится сброс давления и определяется влагосодержание образца после сброса давления;

10. каждая экспериментальная точка на граничных зависимостях получается обработкой трех параллельных опытов.

В ходе эксперимента фиксируются следующие параметры: продолжительность эксперимента, температура образцов, давление в автоклаве, влажность обработанных образцов.

*Таблица 3.1 – Параметры для исследования теплообменных процессов при влагопоглощении и сбросе давления*

Номер опыта	$P$ , МПа	$\tau$ , мин	$T$ , °C	$U$ , %	Номер опыта	$P$ , МПа	$\tau$ , мин	$T$ , °C	$U$ , %
1	1,1	0,5	118	55	9	0,9	0,5	103	34
2	1,1	1,0	143	86	10	0,9	1,0	141	52
3	1,1	2,0	175	112	11	0,9	2,0	166	70
4	1,1	3,0	183	120	12	0,9	3,0	174	78
5	1,0	0,5	110	43	13	0,8	0,5	95	30
6	1,0	1,0	148	66	14	0,8	1,0	133	44
7	1,0	2,0	170	92	15	0,8	2,0	160	54
8	1,0	3,0	179	98	16	0,8	3,0	159	61

В качестве исходных данных для моделирования берем следующие значения: константы уравнения Антуана:  $A = 8,07131$ ,  $B = 1730,63$ ,  $C = 233,426$ ; скрытая теплота парообразования воды  $r = 2300$  кДж/кг; удельная теплоемкость воды  $C_v = 4200$  Дж/(кг·°C); удельная теплоемкость обрабатываемого материала  $C_{др} = 2400$  Дж/(кг·°C); коэффициент проницаемости  $k_p = 1550 \cdot 10^{13}$  м<sup>2</sup>/с.

Ключевым результатом являются кинетические зависимости изменения влажности и температуры обрабатываемого материала.

### 3.2.3 Методика исследований процесса концентрирования и определения коэффициента теплопередачи

Подготовка эксперимента заключалась в санитарной обработке плодов, измельчении плодов с сохранением целостности семян, отделении сока от жома и семян, промывке жома с семенами теплой дистиллированной водой в соотношении 1:3 с получением диффузионного сока, отделении его от жома и семян.

Коэффициент теплопередачи зависит от межтрубного расстояния  $\Delta R$  и давления  $P$  в системе. Межтрубное расстояние определяется как  $\Delta R = \frac{D-d}{2}$ .

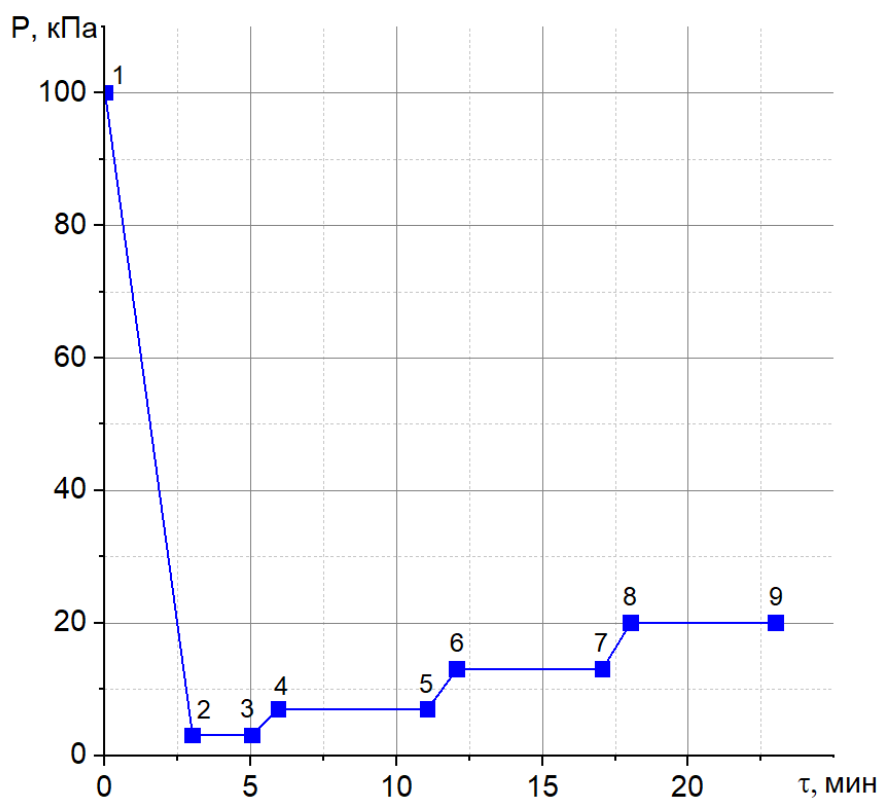
При проведении опытов в выпарной аппарат с диаметром в рабочей зоне  $D = 0,2$  м поочередно устанавливали циркуляционные трубы с диаметрами  $d = 0,12$  м;  $0,14$  м;  $0,16$  м, что обеспечивало межтрубные расстояния  $\Delta R = 0,04$  м;  $0,03$  м;  $0,02$  м.

На рисунке 3.6 представлено кинетическое изменение давления при определении коэффициента теплопередачи в выпарном аппарате.

Методика проведения эксперимента (рисунок 3.4) заключалась в следующем:

1. в выпарной аппарат 1 устанавливается циркуляционная труба 7 с диаметром  $d = 0,16$  м, что обеспечивает межтрубное расстояние  $\Delta R = 0,02$  м;
2. в рабочую зону 4 выпарного аппарата 1 заливается диффузионный сок с температурой  $20$  °С до уровня циркуляционной трубы 7 и закрывается вентиль 33;
3. водокольцевым вакуумным насосом 30 из системы откачивается воздух понижением остаточного давления до 3 кПа (участок 1-3 на рисунке 3.6);
4. закрываются вентили 31 и 32;
5. в рубашку 6 подается пар, нагрев диффузионного сока сопровождается повышением давления до 7 кПа (участок 3-4);
6. в конденсатор 18 подается хладагент и открывается вентиль 32;
7. в ходе опыта фиксируются технологические параметры при остаточном

- давлении 7 кПа, которое поддерживается увеличением расхода пара с помощью регулятора температуры 15 в течении 5 минут (участок 4-5);
8. открытием вентиля 33 заполняется рабочая зона 4 выпарного аппарата 1 диффузионным соком до уровня циркуляционной трубы 7.
  9. закрытием вентилей 32 и 33 поднимается давление до 12 кПа (участок 5-6) и повторяются пункты 2-8 при остаточном давлении 12 кПа (участок 6-7), а затем при остаточном давлении 20 кПа (участок 8-9);
  10. заменяется циркуляционная труба 7 для создания межтрубного расстояния  $\Delta R = 0,03$  м;
  11. повторяются операции 2-9;
  12. повторяются операции 1-8 для межтрубного расстояния  $\Delta R = 0,04$  м.



*Рисунок 3.6 – Кинетика давления при определении коэффициента теплопередачи в выпарном аппарате*

В ходе эксперимента при заданных значениях межтрубного расстояния  $\Delta R$  и давления  $P$  фиксируются следующие параметры:

продолжительность эксперимента, температура первичного пара, температура вторичного пара, температура охлаждающей жидкости на входе, масса конденсата.

При кратковременном выпаривании эксперимент проводится без подвода свежего диффузионного сока и отвода концентрата. В этом случае соотношение (2.16) можно записать выражением:

$$Q_{\text{пп}} = \frac{m_{\text{к}}r}{\Delta\tau}, \quad (3.1)$$

где  $m_{\text{к}}$  – масса конденсата, кг;  $\Delta\tau$  – время отбора конденсата, с.

По значениям массы отобранного конденсата  $m_{\text{к}}$  за время  $\Delta\tau$  при установленном давлении в системе  $P$  и межтрубном расстоянии  $\Delta R$  определяется экспериментальное значение коэффициента теплопередачи  $k$ :

$$k = \frac{m_{\text{к}}r}{F_{\text{в}}\Delta t\Delta\tau} = \frac{m_{\text{к}}r}{F_{\text{в}}\left(t_{\text{пп}} - \left(\frac{B}{A - \lg P} - C\right)\right)\Delta\tau}. \quad (3.2)$$

Значения варьируемых данных при проведении опытов представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Параметры процесса концентрирования облепихового диффузионного сока

Номер опыта	$\Delta R$ , мм	$P$ , кПа	$\Delta\tau$ , с	$t_{\text{ХВХ}}$ , °С	$t_{\text{ВП}}$ , °С	$t_{\text{ПП}}$ , °С
1	2	3	4	5	6	7
1	0,02	7	300	20	40	100
2	0,02	12	300	20	50	100
3	0,02	20	300	20	60	100
4	0,03	7	300	20	40	100
5	0,03	12	300	20	50	100

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7
6	0,03	20	300	20	60	100
7	0,04	7	300	20	40	100
8	0,04	12	300	20	50	100
9	0,04	20	300	20	60	100

### 3.2.4 Методика исследований процесса экстракции и определения коэффициента массопроводности

Остаточное масло из отпрессованных пластин жома мякоти и жома семян извлекают методом твердожидкостной экстракции при 70 °С. В качестве экстрагента используют гексан.

Полученное экстракционное масло взвешивают. Все измерения проводились с помощью высокоточных аналитических весов СУ-64.

Из кинетической зависимости средней концентрации масла в растительном сырье методом регулярного режима [86, 96, 75], по аналогии с методом регулярного теплового режима, может быть определен коэффициент массопроводности по выражению:

$$a_m = Km. \quad (3.3)$$

Коэффициент формы тела „K” для одномерной частицы пластины определяется соотношением:

$$K = \frac{a^2}{\pi^2}, \quad (3.4)$$

где  $a$  – размер частицы, м.

Для расчета темпа регулярного режима массопереноса „m” пластины сырья погружают в растворитель, воздействуют на них заданной

температурой и определяют изменение с течением времени массы растворителя. По результатам эксперимента строят зависимость натурального логарифма относительной избыточной массы (разности максимальной массы растворителя после процесса экстракции и массы в текущий момент времени, отсчитываемой от начала погружения сырья в экстрагент) от времени. На полученной зависимости выделяют стадию регулярного режима массопереноса, характеризуемую тем, что опытные точки на графике группируются около прямой линии. Тангенс угла наклона этой прямой к оси абсцисс на графике численно равен значению темпа регулярного режима массопереноса. Далее по формуле (3.3) рассчитывают коэффициент массопроводности.

### **3.3 Анализ результатов исследований физического и численного моделирования**

#### **3.3.1 Анализ результатов сепарации плодов облепихи на отдельные компоненты**

В результате сепарации плодов облепихи на компоненты, в соответствии с приведенной методикой, из 1000 г плодов облепихи по результатам трех параллельных опытов получены: сок – 654,90 г, диффузионный сок – 297,03 г, высушенный жом мякоти – 21,44 г, высушенные семена – 26,63 г. Исходное содержание масла в пластинах, определенное в аппарате Сокслета, соответствует: 21,74 % в мякоти и 5,12 % в жоме семян.

В результате холодного прессования жома мякоти и семян получены масла холодного отжима, средние арифметические значения результатов трех измерений приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты холодного прессования жома мякоти и семян

Растительное сырье	Исходная масса, г	Масса масла холодного отжима, г (%)	Масса отпрессованных пластин, г
Жом мякоти	21,44	0,62 (2,89 %)	20,82
Семена	26,63	2,03 (7,62 %)	24,60

Анализ таблицы 3.3 показывает, что выход масла из семян облепихи больше выхода масла из жома мякоти.

### 3.3.2 Анализ результатов исследования теплообменных процессов при производстве БАК серотонина

На рисунке 3.7 приведены экспериментальные кинетические зависимости влагопоглощения  $U$  обрабатываемого материала при разных значениях давления в автоклаве  $P$ .

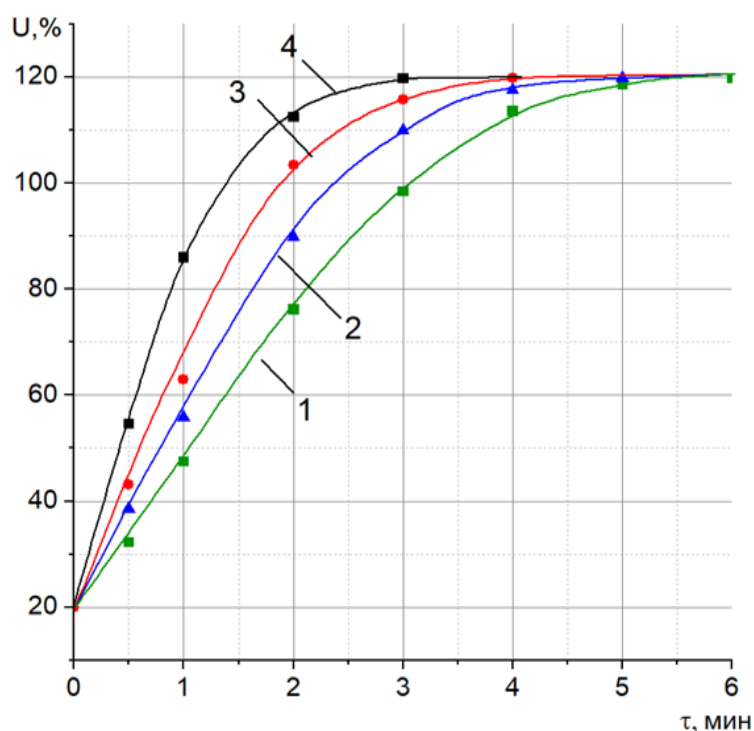


Рисунок 3.7 – Кинетические кривые влагопоглощения образца при различных давлениях: 1 – 0,8 МПа; 2 – 0,9 МПа; 3 – 1,0 МПа; 4 – 1,1 МПа

Анализ экспериментальных кривых кинетики влагосодержания показывает, что увеличение давления в установке паровзрывной обработки существенно влияет на итоговое содержание влаги. С ростом давления растет температура насыщенного пара, что интенсифицирует процесс влагопереноса в материале. Для достижения влажности 120 % при давлении 1,1 МПа необходимо насыщать материал 3 минуты, при этом увеличиваются затраты на создание избыточного давления в аппарате. Для достижения необходимой влажности при давлении 0,8 МПа увеличивается продолжительность процесса до 6 минут. Таким образом, интервал обработки при давлении 0,9 – 1,0 МПа в течение 4 – 5 минут является областью оптимальных параметров, сочетающих высокую эффективность влагопереноса с экономической и технологической целесообразностью эксплуатации оборудования.

На рисунке 3.8 приведены экспериментальные кинетические зависимости температуры образца.

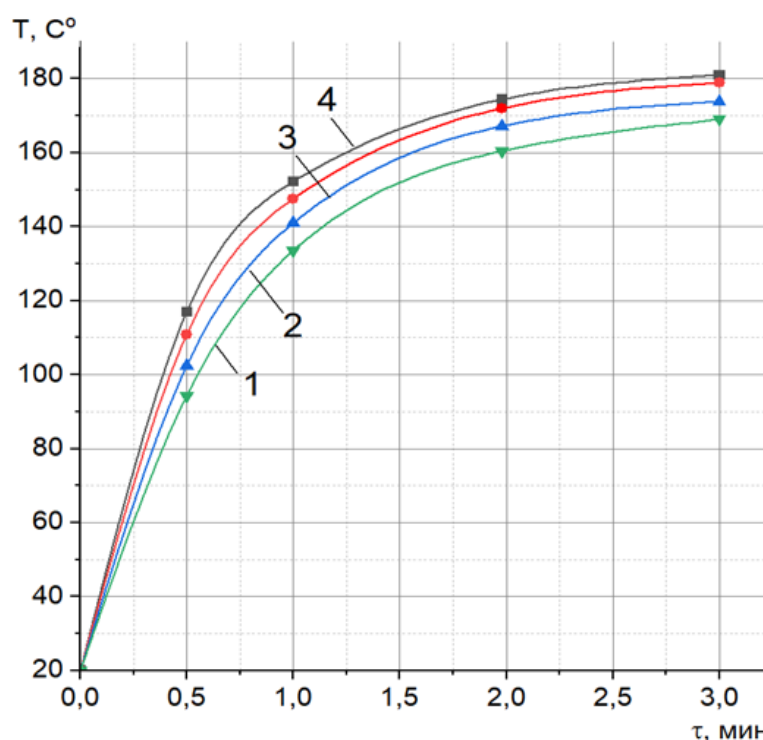


Рисунок 3.8 – Кинетические зависимости температуры материала при нагреве насыщенным паром и при различном давлении: 1 – 0,8 МПа; 2 – 0,9 МПа; 3 – 1,0 МПа; 4 – 1,1 МПа

Все кривые имеют характерный вид: быстрый нагрев с последующим выходом на температурное плато. Кривые для более высоких давлений (например, кривая 4) выходят на более высокое стационарное значение температуры, что полностью соответствует термодинамике насыщенного пара.

Обработкой экспериментальных данных были получены аппроксимирующие зависимости, позволяющие прогнозировать параметры процесса:

$$U = 125,28 - 4,99\tau - 288,88P - 9,76\tau^2 + 184,31P^2 + 59,77\tau P; \quad (3.5)$$

$$T = 2790,89 + 249,10\tau - 172,9\tau^2 + 61,41\tau^3 - 10,21\tau^4 + 0,56\tau^5 - 14394,57P + 29276,46P^2 - 29388,51P^3 + 14616,27P^4 - 2880,97P^5. \quad (3.6)$$

На рисунке 3.9 приведены расчетные кинетические зависимости влагосодержания  $U$  и температуры материала  $T$  от давления  $P$ , построенные по зависимостям (3.5) и (3.6).

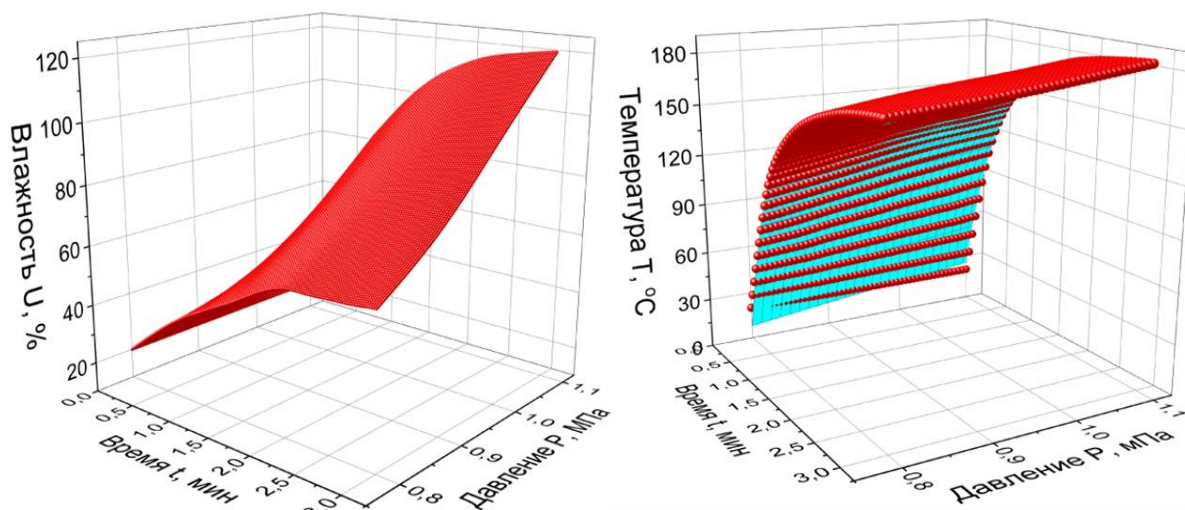
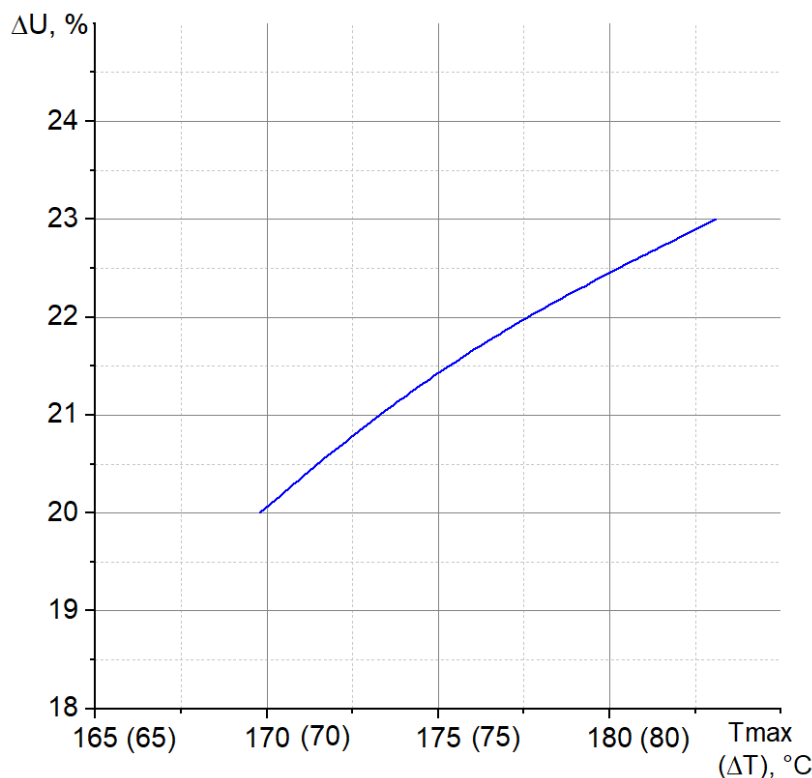


Рисунок 3.9 – Расчетные кинетические зависимости влагосодержания  $U$  и температуры материала  $T$  от давления  $P$

Полученные зависимости полностью соответствуют термодинамике насыщенного водяного пара и позволяют обосновать выбор рациональных

параметров паровзрывной обработки побегов, обеспечивающих необходимую степень активации сырья при экономически целесообразных энергозатратах.

На рисунке 3.10 представлена зависимость величины влагосъема  $\Delta U$  от температуры  $T$  в автоклаве.



*Рисунок 3.10 – Зависимость величины влагосъема от температуры в автоклаве*

График зависимости величины влагосъема  $\Delta U$  от максимальной температуры  $T_{max}$  в автоклаве демонстрирует прямую пропорциональную связь между этими параметрами.

С повышением температуры в автоклаве от 169 до 183 °C наблюдается линейный рост влагосъема с 14 до 18 %. Данная зависимость построена на основе уравнения теплового баланса (10) из математической модели и отражает фундаментальный физический принцип: количество тепловой энергии, затрачиваемой на испарение влаги из растительного сырья, прямо пропорционально разности между температурой насыщенного пара в

автоклаве и температурой кипения воды при атмосферном давлении (100 °С).

### 3.3.3 Анализ результатов исследования процесса концентрирования

Исходными данными для моделирования берем следующие значения: константы уравнения Антуана  $A = 8,07131$ ,  $B = 1730,63$ ,  $C = 233,426$ ; скрытая теплота парообразования воды  $r = 2300$  кДж/кг; температура первичного пара  $t_{пп} = 100$  °С; поверхность нагрева  $F_B = 0,45$  м<sup>2</sup>; масса диффузионного сока в выпарном аппарате перед опытом  $M_{дс} = 10$  кг; удельная теплоемкость диффузионного сока  $C_c = 4,2$  кДж/кг.

В таблице 3.4 представлены результаты исследований по определению коэффициента теплопередачи в выпарном аппарате при выпаривании облепихового диффузионного сока, где  $m_k$  – среднее арифметическое значение трех параллельных измерений.

Таблица 3.4 – Результаты эксперимента

Номер эксперимента	$\Delta R, м$	$P, кПа$	$m_k, кг$	$\Delta\tau, с$	$k_B, \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$
1	0,02	7	1,02	300	710
2	0,02	12	0,86	300	672
3	0,02	20	0,72	300	653
4	0,03	7	0,77	300	553
5	0,03	12	0,66	300	515
6	0,03	20	0,56	300	498
7	0,04	7	0,53	300	409
8	0,04	12	0,46	300	355
9	0,04	20	0,42	300	342

На рисунке 3.11 показаны экспериментальные зависимости коэффициента теплопередачи  $k$  от давления  $P$  при различных значениях межтрубного расстояния  $\Delta R$ , полученные обработкой экспериментальных данных, приведенных в таблице 3.3.

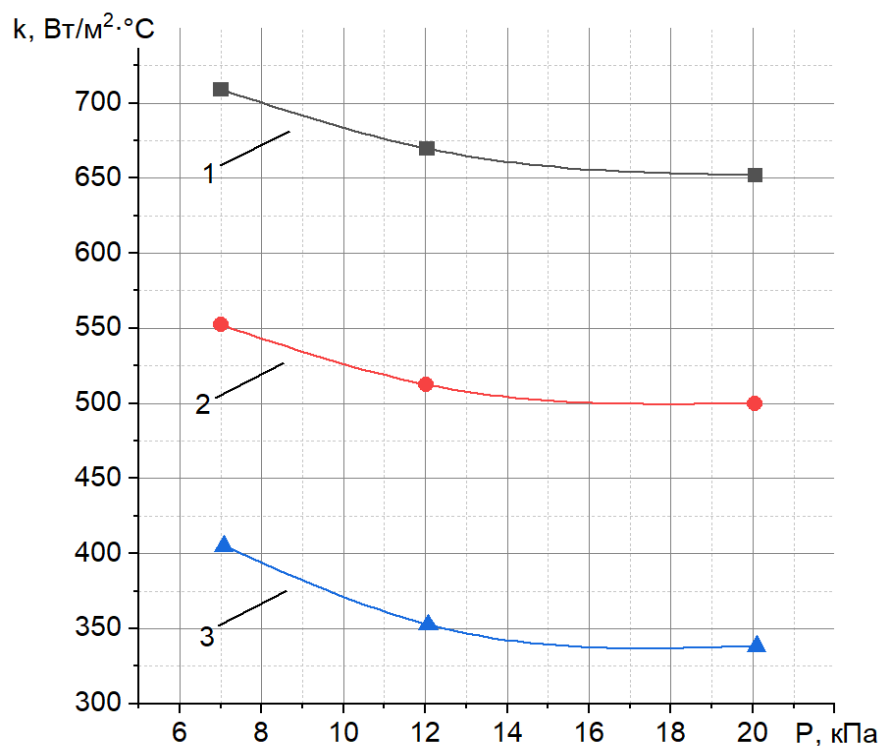


Рисунок 3.11 – Экспериментальная зависимость коэффициента теплопередачи от давления при различных значениях межтрубного пространства: 1 –  $\Delta R = 0,02$  м; 2 –  $\Delta R = 0,03$  м; 3 –  $\Delta R = 0,04$  м

Анализ экспериментальных зависимостей позволяет сделать вывод о том, что коэффициент теплопередачи имеет обратную зависимость от давления и межтрубного пространства в выпарном аппарате. Это связано с уменьшением движущей силы процесса выпаривания при повышении давления  $P$  в выпарном аппарате и уменьшением скорости циркуляции при увеличении межтрубного расстояния  $\Delta R$ . Рост давления в системе приводит к повышению температуры кипения раствора, что, в свою очередь, снижает температурный напор между греющим паром и кипящим соком, являющийся основной движущей силой процесса теплопереноса. Увеличение межтрубного расстояния негативно

сказывается на гидродинамике среды в рабочей зоне аппарата: уменьшается скорость циркуляции раствора, ухудшается турбулизация потока и, как результат, снижается интенсивность конвективного теплообмена у поверхности нагрева.

Математической обработкой данных графиков получена зависимость коэффициента теплопередачи  $k$  от межтрубного расстояния в рабочей зоне выпарного аппарата и давления:

$$k = 1126,439 - 17,707P - 1596,444\Delta R + 0,516P^2 + 138,889\Delta R^2 - 25P\Delta R. \quad (3.7)$$

На рисунке 3.12 приведена расчетная зависимость коэффициента теплопередачи  $k$  от межтрубного расстояния в рабочей зоне выпарного аппарата и давления, построенная по зависимости (3.7).

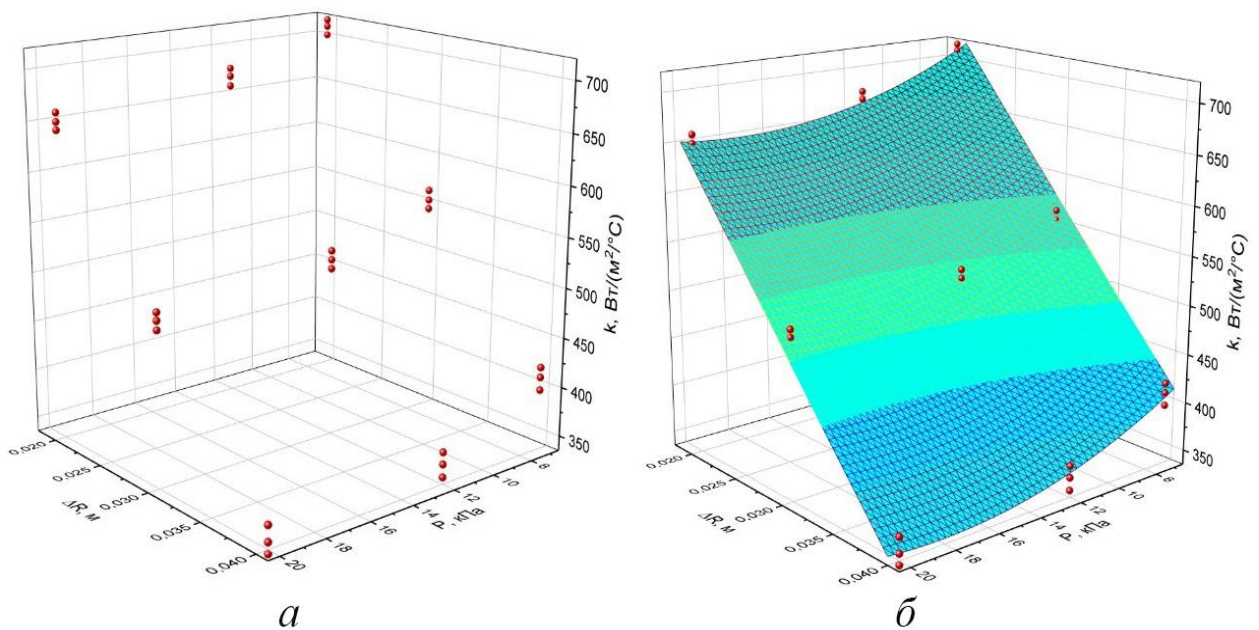
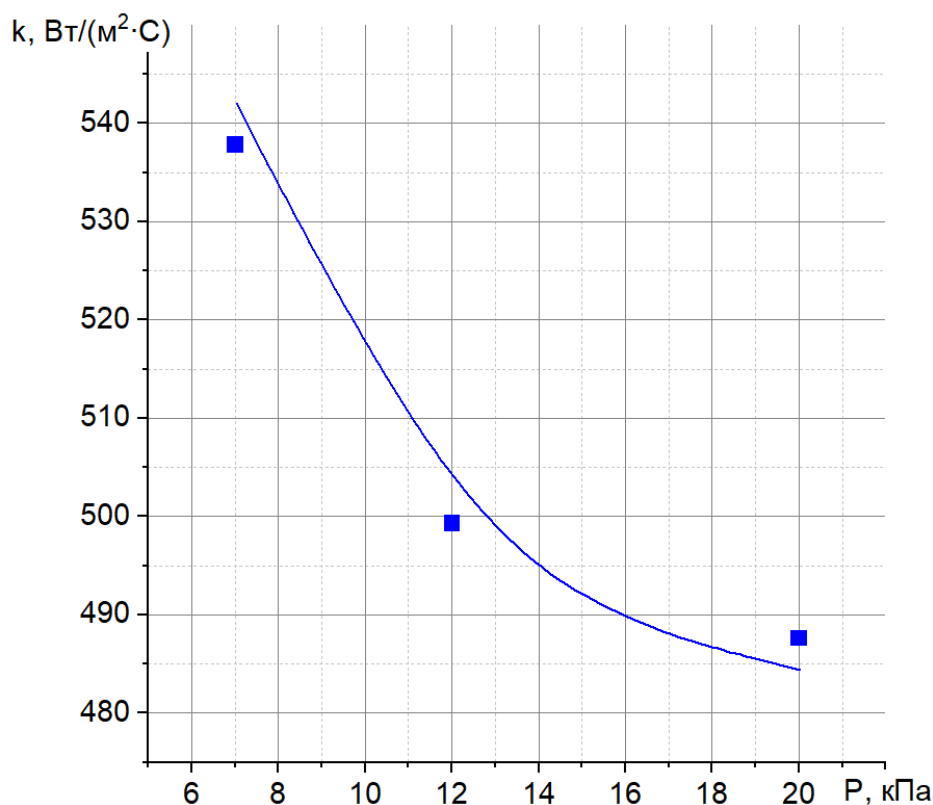


Рисунок 3.12 – Экспериментальная (а) и расчетная (б) зависимости коэффициента теплопередачи от межтрубного расстояния в рабочей зоне выпарного аппарата и давления

При давлении менее 7 кПа усложняется аппаратное оформление процесса. При давлении более 12 кПа увеличивается температура процесса концентрирования и уменьшается количество биологически активных веществ.

Для проверки адекватности полученной математической модели (3.7)

были проведены эксперименты с использованием промежуточных значений давления ( $P = 7$  кПа,  $P = 12$  кПа,  $P = 20$  кПа) при межтрубном пространстве  $\Delta R = 0,03$  м. Результаты интерполяции представлены на рисунке 3.13.



*Рисунок 3.13 – Расчетные и экспериментальные данные по коэффициенту теплопередачи в зависимости от давления при межтрубном пространстве  $\Delta R = 0,02$  м*

Сплошной линией показаны расчетные данные по зависимости (3.7), точками – данные, полученные обработкой экспериментальных значений трех параллельных измерений. Отклонение расчетных данных от экспериментальных не превышает 8 %.

Статистическая обработка результатов исследований с применением критерия Фишера показала адекватность математической модели для расчета коэффициента теплопередачи ( $F_{\text{расч}} = 2,1$ ;  $F_{\text{табл}} = 4,07$ ) и возможности ее применения при расчете выпарных аппаратов для исследованных диапазонов

входных параметров.

Анализ результатов исследования показал оптимальные значения давления ( $P = 7 - 12$  кПа) и температуры процесса ( $T = 40 - 50$  °С).

### 3.3.4 Анализ результатов исследования процесса экстракции и определения коэффициента массопроводности

На рисунке 3.14 представлены зависимости концентрации облепихового масла в выжимках мякоти и семян при различных значениях гидромодуля.

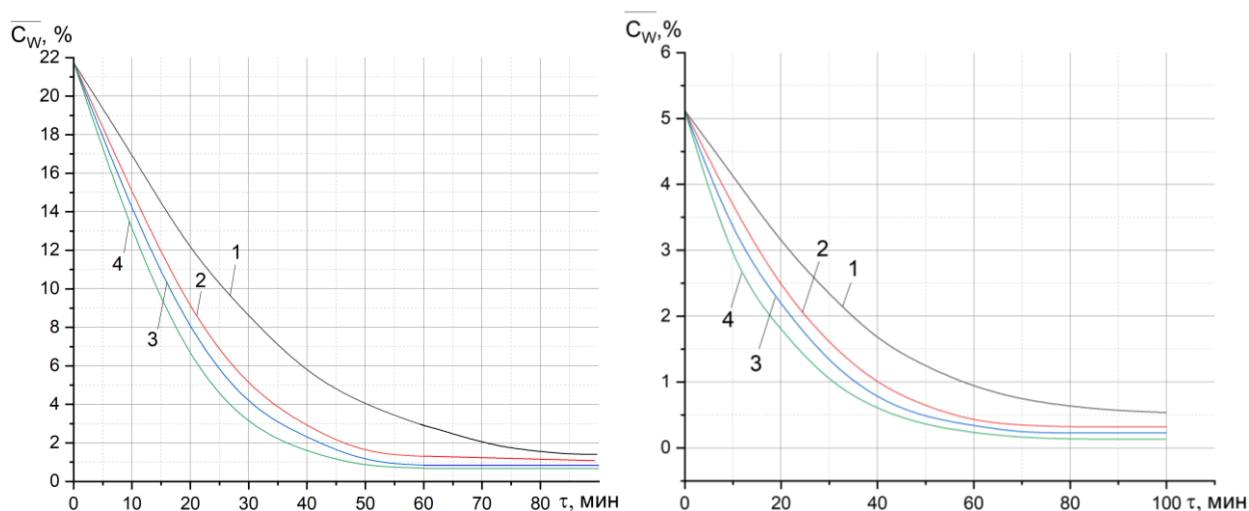


Рисунок 3.14 – Кинетическая зависимость концентрации облепихового масла в выжимках мякоти (а) и семян (б) при гидромодуле: 1 –  $M = 7$ ; 2 –  $M = 8$ ; 3 –  $M = 9$ ; 4 –  $M = 10$

Анализ экспериментальных кривых экстракции показывает, что гидромодуль оказывает существенное влияние на кинетику процесса. Установлено, что при снижении гидромодуля до значений менее 8 наблюдается резкое увеличение продолжительности выхода целевых компонентов, что свидетельствует о лимитировании процесса диффузии в условиях недостатка растворителя. Напротив, при гидромодуле, равном 8 и выше, скорость экстракции выходит на плато: дальнейшее увеличение объема растворителя практически не влияет на время завершения процесса.

Временные параметры при оптимальном гидромодуле (8) составляют 60 мин для переработки выжимок мякоти и 70 мин для выжимок семян. Поскольку повышение гидромодуля свыше 8 не приводит к сокращению технологического цикла, его применение признано экономически неоправданным из-за роста расхода экстрагента, увеличения энергозатрат на его нагрев и последующее упаривание.

На рисунке 3.15 представлены кинетические зависимости кислотности облепихового масла и температуры процесса экстракции.

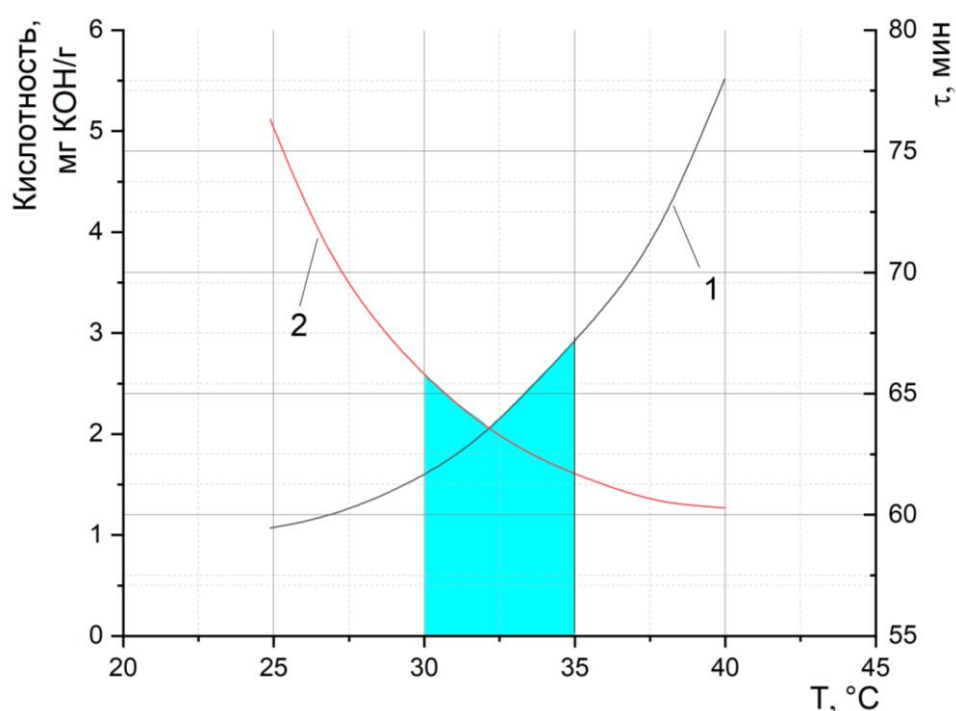


Рисунок 3.15 – Температурные зависимости кислотности облепихового масла и продолжительности процесса экстракции: 1 – качество облепихового масла, 2 – продолжительность процесса экстракции

С повышением температуры экстракции наблюдается сокращение продолжительности процесса (кривая 2). Однако при этом возрастает кислотность получаемого облепихового масла (кривая 1), что негативно влияет на качество целевого продукта. Оптимальным температурным интервалом, обеспечивающим баланс между технологической

эффективностью и сохранением качества масла, является диапазон 30 – 35 °С. Дальнейшее повышение температуры приводит к неоправданному ухудшению качественных показателей масла при незначительном сокращении времени экстракции.

На рисунке 3.16 приведены кинетические зависимости концентрации облепихового масла в гексане при экстрагировании отпрессованных пластин жома мякоти и жома семян при температуре экстрагента 30 – 35 °С.

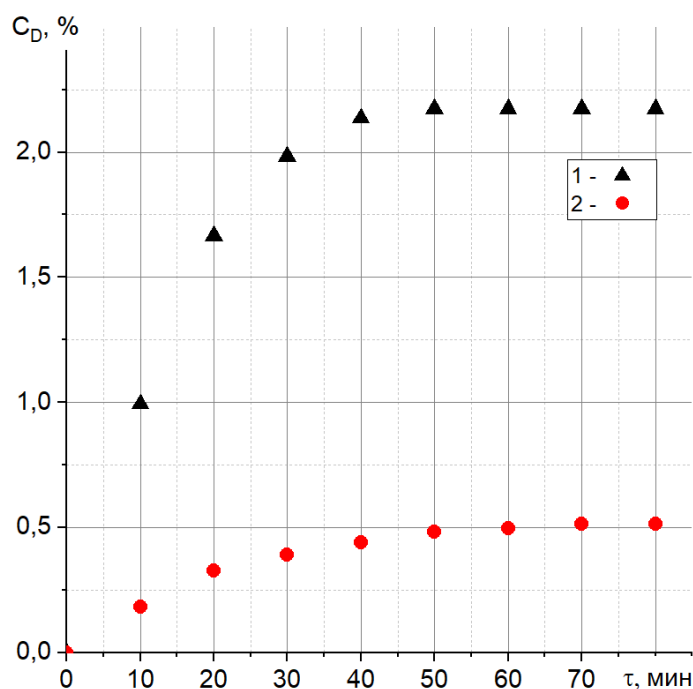


Рисунок 3.16 – Кинетическая зависимость концентрации облепихового масла в экстрагенте при экстрагировании отпрессованных пластин жома при гидромодуле  $M = 8$ , температуре экстракции  $T = 35$  °С: 1 – мякоти; 2 – семян

Дисперсионный анализ кривой показывает, что через 60 мин экстрагирования отпрессованных пластин жома мякоти концентрация облепихового масла в экстракте во времени становится незначительной. При экстрагировании отпрессованных пластин жома семян неизменность концентрации облепихового масла в экстракте отмечена через 70 мин.

Результаты исследований по содержанию масла в жоме мякоти и семенах сведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Начальная концентрация облепихового масла в сырье

Сырье	Масло холодного отжима, %	Масло экстракционное, %	Исходная концентрация облепихового масла $C_{wH}$ , %
Мякоть	2,89 (0,62 г)	21,74 (4,67 г)	24,62 (5,29 г)
Семена	7,62 (2,03 г)	5,12 (1,36 г)	12,73 (3,39 г)
Всего (относительно массы плодов)	0,265 (2,65 г)	0,603 (6,03 г)	0,868 (8,68 г)

Анализ таблицы показывает относительно небольшой выход масла холодного отжима из жома мякоти (2,89 %) по сравнению с выходом масла из семян (7,62 %). Это связано с нахождением масла в жоме мякоти, в основном, в межклеточном пространстве и сложностью его удаления механическим отжимом.

На рисунке 3.17 представлены кинетические зависимости концентрации облепихового масла в декартовой и логарифмической системах координат в процессе экстракции облепихового масла из отпрессованных пластин жома мякоти и жома семян, полученные обработкой экспериментальных данных трех параллельных измерений.

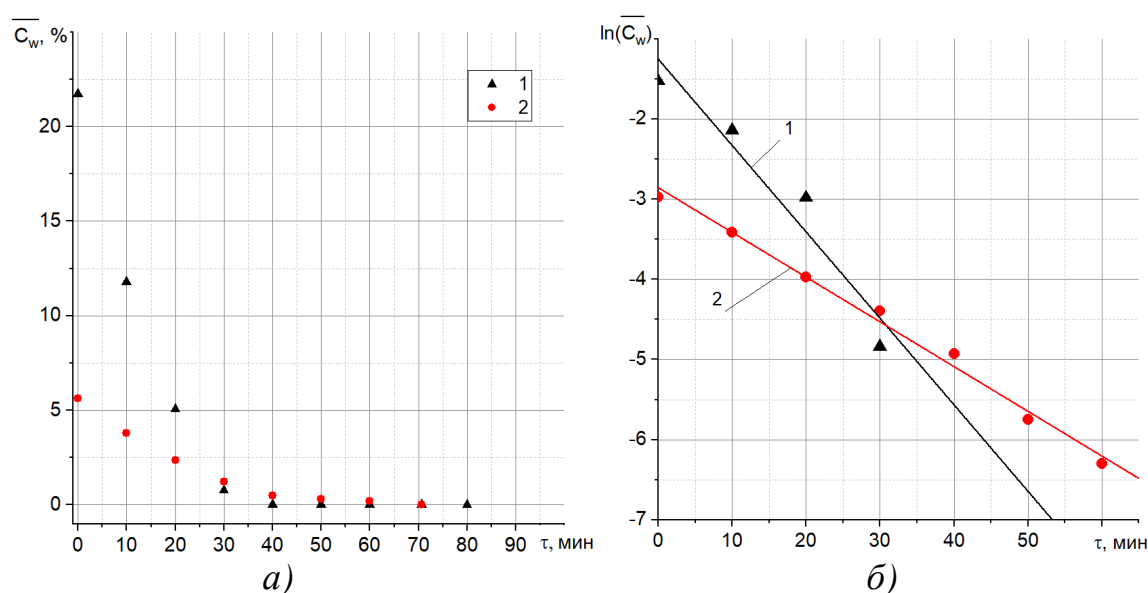


Рисунок 3.17 – Кинетические зависимости концентрации облепихового масла в декартовой и логарифмической системах координат: а) в декартовой системе координат; б) логарифм концентрации; 1 – в жоме мякоти; 2 – в жоме семян

Коэффициент формы исследуемых частиц, рассчитанный по формуле (2.22), составляет:  $K = 1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$ . Темп регулярного режима „m” определен как тангенс угла наклона кинетической зависимости натурального логарифма концентрации облепихового масла (см. рис. 3.17 б). Его значения составили: для мякоти  $0,10779 \frac{1}{\text{с}}$ , для семян  $0,05578 \frac{1}{\text{с}}$ .

Коэффициент массопроводности  $\alpha_m$ , рассчитанный по формуле (2.21), составляет:

- при экстрагировании отпрессованных пластин жома мякоти:

$$\alpha_m = 1,09 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}; \quad (3.8)$$

- при экстрагировании отпрессованных пластин жома семян:

$$\alpha_m = 5,65 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}. \quad (3.9)$$

Решением дифференциального уравнения (2.19) при граничных условиях (2.2), (2.20) и параметрах идентификации (3.8), (3.9) построены динамические кривые изменения локальных концентраций экстрактивных веществ по сечению пластины толщиной 1 мм из жома мякоти и семян (рис.3.18).

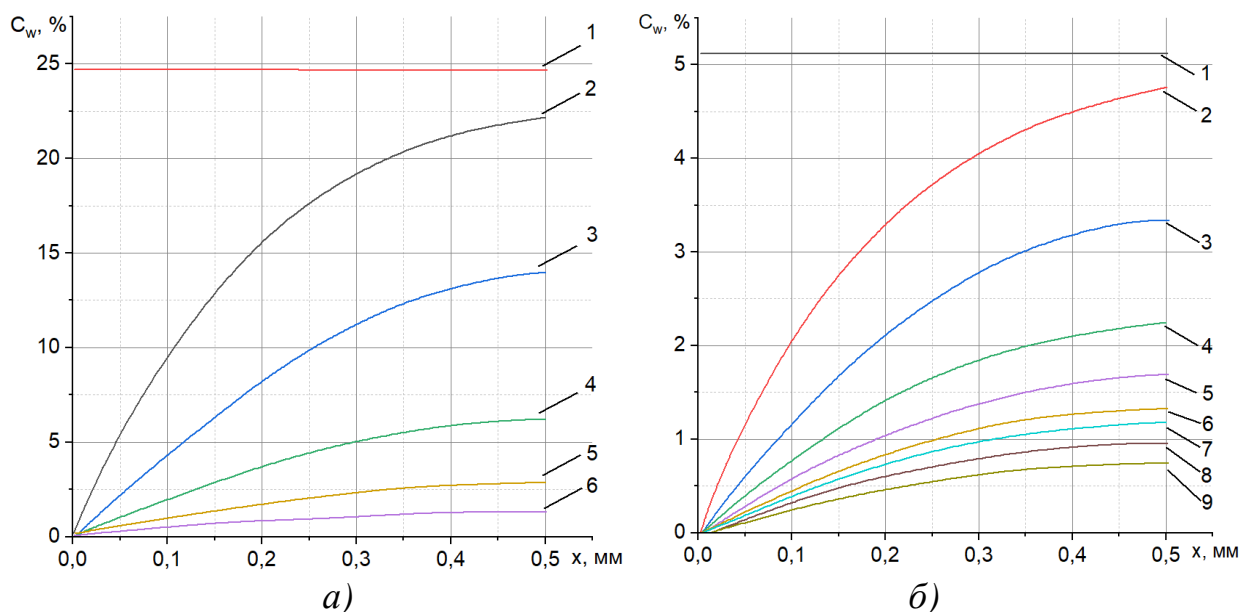


Рисунок 3.18 – Расчетные динамические кривые концентрации облепихового масла по сечению пластины жома: а – мякоти; б – семян: 1 –  $\tau = 0$  мин; 2 –  $\tau = 5$  мин; 3 –  $\tau = 10$  мин; 4 –  $\tau = 20$  мин; 5 –  $\tau = 30$  мин; 6 –  $\tau = 40$  мин; 7 –  $\tau = 50$  мин; 8 –  $\tau = 60$  мин; 9 –  $\tau = 70$  мин

Для проверки адекватности математического описания процесса экстракции реальной физической картине, интегрированием динамических кривых по соотношению (2.23) получены расчетные кинетические зависимости средней концентрации. На рисунке 3.19 сопоставлены результаты экспериментальных данных средней концентрации облепихового масла в мякоти и семенах (рисунок 3.17 а) с расчетными значениями средней концентрации.

Сплошными линиями показаны расчетные данные, полученные по соотношению (2.24), точками – экспериментальные данные. Отклонение расчетных данных от экспериментальных не превышает 15 %. Статистическая обработка результатов исследований с применением критерия Фишера показала адекватность математической модели процесса экстрагирования облепихового масла из отпрессованных пластин жома мякоти ( $F_{\text{расч}} = 2,1$ ;  $F_{\text{табл}} = 4,07$ ) и семян ( $F_{\text{расч}} = 2,6$ ;  $F_{\text{табл}} = 4,6$ ) орошением свежим гексаном и возможности ее применения для расчетов перколяционных экстракторов.

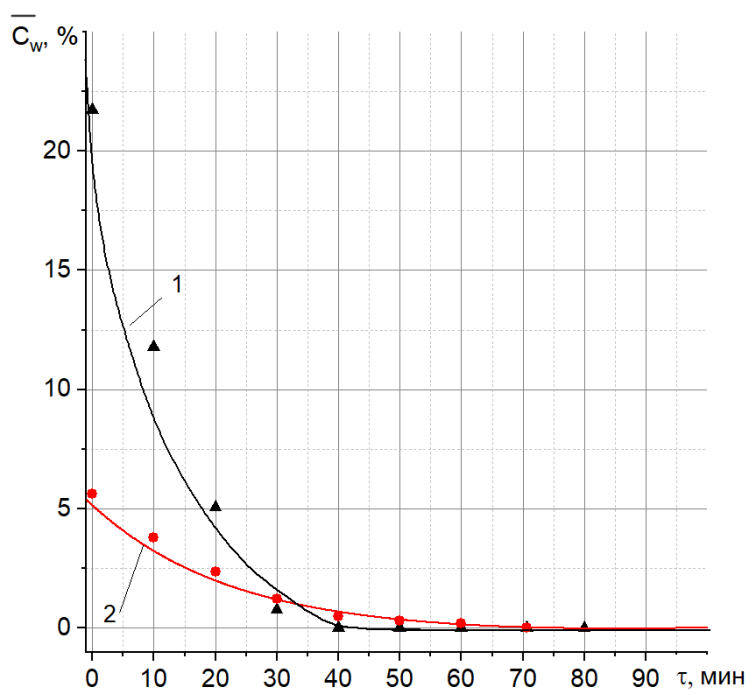


Рисунок 3.19 – Расчетные и экспериментальные кинетические кривые концентрации облепихового масла в жоме при гидромодуле  $M = 8$ , температуре экстракции  $T = 35$  °С: 1 – мякоти; 2 – семян

В данной главе разработаны и апробированы методики и установки для ключевых процессов: сепарации сырья, паровзрывной обработки побегов, концентрирования сока и экстракции масла. Определены оптимальные режимы (давление 0,9 – 1,0 МПа и время 4 – 5 мин для обработки побегов; остаточное давление 7 – 12 кПа для концентрирования; экстрагент гексан, гидромодуль 8 – 9, температура процесса 30 – 35 °С, продолжительность процесса  $60 \pm 5$  мин для жома мякоти и  $70 \pm 5$  мин для жома семян при экстракции масла), рассчитаны коэффициенты массо- и теплопередачи, а также выходы целевых продуктов. Верификация математических моделей показала их адекватность, что создает научно-экспериментальную базу для проектирования промышленной линии.

## **ГЛАВА IV. ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОБЛЕПИХИ**

Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий переработки растительного сырья является одним из приоритетных направлений развития агропромышленного комплекса в соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации. Существующие технологии, как правило, ориентированы на получение одного целевого продукта (например, масла или сока), что приводит к потере значительной части полезных веществ и образованию большого количества вторичных ресурсов (жом, неплодовая часть). В этой связи актуальной задачей является создание промышленной технологии комплексной переработки облепихи, позволяющей максимально полно извлечь все ценные компоненты, локализованные в различных частях растения (мякоть, кожица, семена, побеги), и организовать безотходное производство. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований была разработана и обоснована технологическая линия комплексной переработки облепихи, технико-экономические показатели которой подтверждают ее эффективность и целесообразность промышленной реализации.

### **4.1 Описание технологической линии комплексной переработки облепихи**

Технологическая линия комплексной переработки облепихи представляет собой последовательность взаимосвязанных технологических операций и аппаратов, обеспечивающих получение из исходного сырья (плоды облепихи с веточками) широкого спектра целевых продуктов: облепихового сока, концентрированного сока, масел холодного отжима из мякоти и семян, экстракционного масла и биологически активного комплекса, содержащего серотонин [25, 76-80, 87]. Принципиальная схема технологической линии представлена на рисунке 4.1.

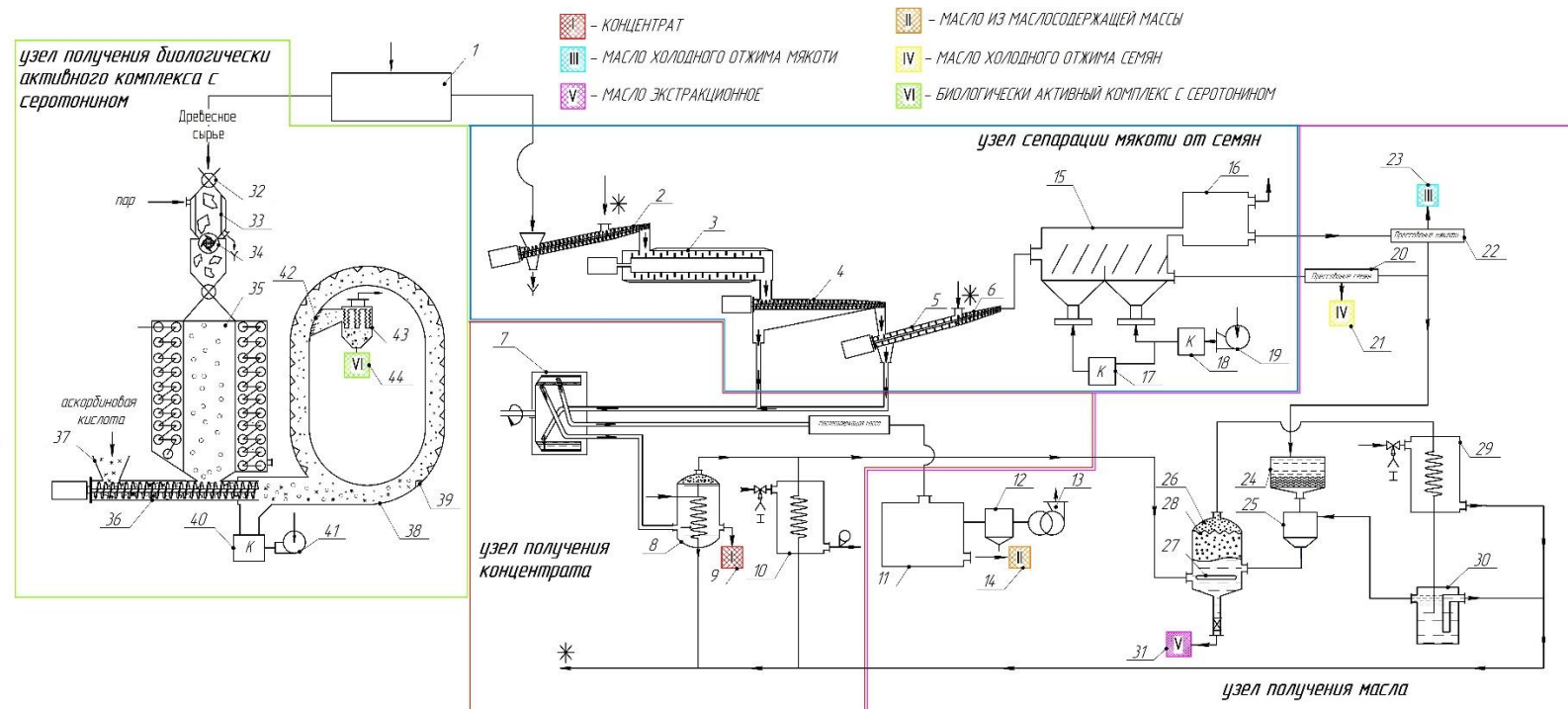


Рисунок 4.1 – Технологическая линия комплексной переработки облепихи: 1 – стадия сепарации плодов от веток; 2 – промывной аппарат; 3 – горизонтальный дисмембратор; 4 – отжимной инек-пресс; 5 – промывной аппарат; 6 – отжимной узел; 7 – центробежный сепаратор; 8 – выпарной аппарат; 9 – емкость для сбора концентрата; 10 – конденсатор; 11 – вакуумно-кондуктивная сушилка; 12 – конденсатор; 13 – водокольцевой вакуумный насос; 14 – емкость для сбора масла; 15 – двухсекционный аппарат кипящего слоя; 16 – воздушный сепаратор; 17, 18 – калориферы; 19 – газодувка; 20 – узел прессования семян; 21 – емкость для сбора масла холодного отжима семян; 22 – узел прессования мякоти; 23 – емкость для сбора масла холодного отжима мякоти; 24 – экстрактор; 25 – буферная емкость с экстрагентом, 26 – испаритель, содержащий: 27 – коллектор подвода вторичного пара, 28 – каплеотбойник; 29 – конденсатор; 30 – флорентина; 31 – емкость для сбора экстракционного масла; 32 – шлюзовый затвор; 33 – автоклав; 34 – роторно-ножевой измельчитель; 35 – выдувной резервуар; 36 – инековый транспортер; 37 – бункер загрузки аскорбиновой кислоты; 38 – замкнутый трубопровод; 39 – режущие элементы; 40 – калорифер; 41 – газодувка; 42 – жалюзи; 43 – воздушный сепаратор (рукавный фильтр); 44 – сборник готового продукта.

Комплексную переработку облепихи ведут следующим образом. Плоды облепихи вместе с веточками поступают на стадию разделения плодов от веток 1. Отделенные плоды облепихи, промытые в промывном аппарате 2 в режиме противотока водой с температурой 60 – 65 °С, поступают в горизонтальный дисмембратор 3, где плоды измельчаются с сохранением целостности семян.

Затем плодовую мякоть подают в шнековый транспортер 4, где ее отделяют от облепихового сока. Отделение облепихового сока происходит за счет фильтрации плодовой мякоти через отверстия диаметром 1,0 – 1,1 мм в статоре шнекового транспортера.

Оставшаяся мякоть поступает в промывной аппарат 5 с лопастями, где мякоть разбавляется и промывается дистиллированной водой с температурой 60 – 65 °С при модуле 1:7. Промытую мякоть подают в отжимной узел 6, где ее сепарируют на диффузионный сок и жом с семенами. Диффузионный сок также фильтруется через отверстия диаметром 1,0 – 1,1 мм.

Облепиховый сок и диффузионный сок из аппаратов 4 и 5 поступают в центробежный сепаратор 7, где происходит отделение маслосодержащей мякоти от сока при факторе разделения 2000 – 3000.

Сок из центробежного сепаратора 7 поступает в выпарной аппарат 8, в который кондуктивно подается пар. Концентрат облепихового сока поступает в сборник концентрата 9.

Маслосодержащую массу из центробежного сепаратора 7 подают в вакуумно-кондуктивную сушилку 11 и сушат при остаточном давлении 5 – 10 кПа в течение 60 – 90 мин. Остаточное давление в вакуумно-кондуктивной сушилке 11 поддерживается конденсатором 12 и водокольцевым вакуумным насосом 13. Масло из маслосодержащей массы собирается в сборнике 14.

Жом с семенами подают в двухсекционный аппарат кипящего слоя 15 с температурой в первой секции 90 – 100 °С, во второй секции 60 – 65 °С и сушат

до остаточной влажности 4 – 10 %.

По мере высыхания компоненты жома теряют удельный вес и пневмотранспортируются из двухсекционного аппарата отработанным теплоносителем в воздушный сепаратор 16. Отделенные семена выводятся из сушилки и подвергаются прессованию в пресс-фильтре 20 для получения масла семян, которое собирается в сборнике 21. Подача теплоносителя в сушилку 15 с заданной температурой организовывается с помощью двух калориферов 17, 18 и газодувки 19.

Жом мякоти выводится из воздушного сепаратора 16 и подвергается прессованию в пресс-фильтре 22 для получения масла мякоти, которое собирается в сборнике 23.

Жом и семена, частично обезжиренные прессованием пресс-фильтрах 20 и 22, собирают в экстракторе 24 для экстрагирования гексаном при модуле 1:3.

Экстракт из экстрактора 24 через буферную емкость 25 поступает в испаритель 26, где из него выпаривается гексан вторичным паром, поступающим из коллектора 27 выпарного аппарата 8, при этом получается экстракционное масло, которое собирается в сборнике 31. Образующиеся пары гексана и воды проходят через каплеотбойник 28 и конденсируются в поверхностном конденсаторе 29. Конденсат сепарируется в флорентине 30 на гексан и воду. Гексан возвращается в экстрактор, а вода смешивается с отработанным хладагентом конденсаторов 10 и 29, выпарного аппарата 8 водой и подается на промывку в промывные аппараты 2 и 5.

Отделенные ветки облепихи измельчают до 10 – 20 мм и подают в автоклав 33 через шлюзовый затвор 32 и обрабатывают насыщенным паром в течении 4 – 5 мин при давлении 0,9 – 1,0 МПа.

Затем пропаренное растительное сырье с помощью роторно-ножевого измельчителя 34 измельчают до размера частиц 1 – 2 мм.

Затем содержимое автоклава 33 сбрасывают через шлюзовой затвор в

выдувной резервуар 35 с давлением 0,9 – 1,0 кПа, при этом происходит активация частиц сырья. Водяные пары вскипания конденсируются в холодильнике и отводятся через патрубок.

Активированное измельченное сырье из выдувного резервуара 35 подают в шнековый транспортер 36, в который через бункер загрузки 37 подают аскорбиновую кислоту. Аскорбиновая кислота и измельченное растительное сырье из шнекового транспортера 36 теплоносителем подают в замкнутый трубопровод 38 с режущими элементами 39.

Подача теплоносителя с заданной температурой организовывается с помощью калорифера 40 и газодувки 41.

Аскорбиновая кислота и частицы растительного сырья за счет центробежной силы движутся по периферийной стенке замкнутого трубопровода 38, оснащенной режущими элементами 39. Они, ударяясь о режущие элементы 39, смешиваются и подвергаются механоактивации, приобретая порошкообразное состояние.

По мере высыхания и измельчения сырье в замкнутого трубопроводе 38 теряет вес и в виде пыли пневмотранспортируются теплоносителем через жалюзи 42 в воздушный сепаратор 43, выполненный в виде рукавного фильтра. Сепарированный мелкодисперсный порошок с серотонином собирается в сборнике 44.

#### **4.2 Инженерная методика расчета узла концентрирования**

Особенностью концентрирования облепихового сока является его относительно небольшая производительность и термолабильность, поэтому разработан паровой однокорпусной вакуумный выпарной аппарат [26] с естественной циркуляцией, с центральной циркуляционной трубой и со встроенным сепаратором, представленный на рисунке 4.2.

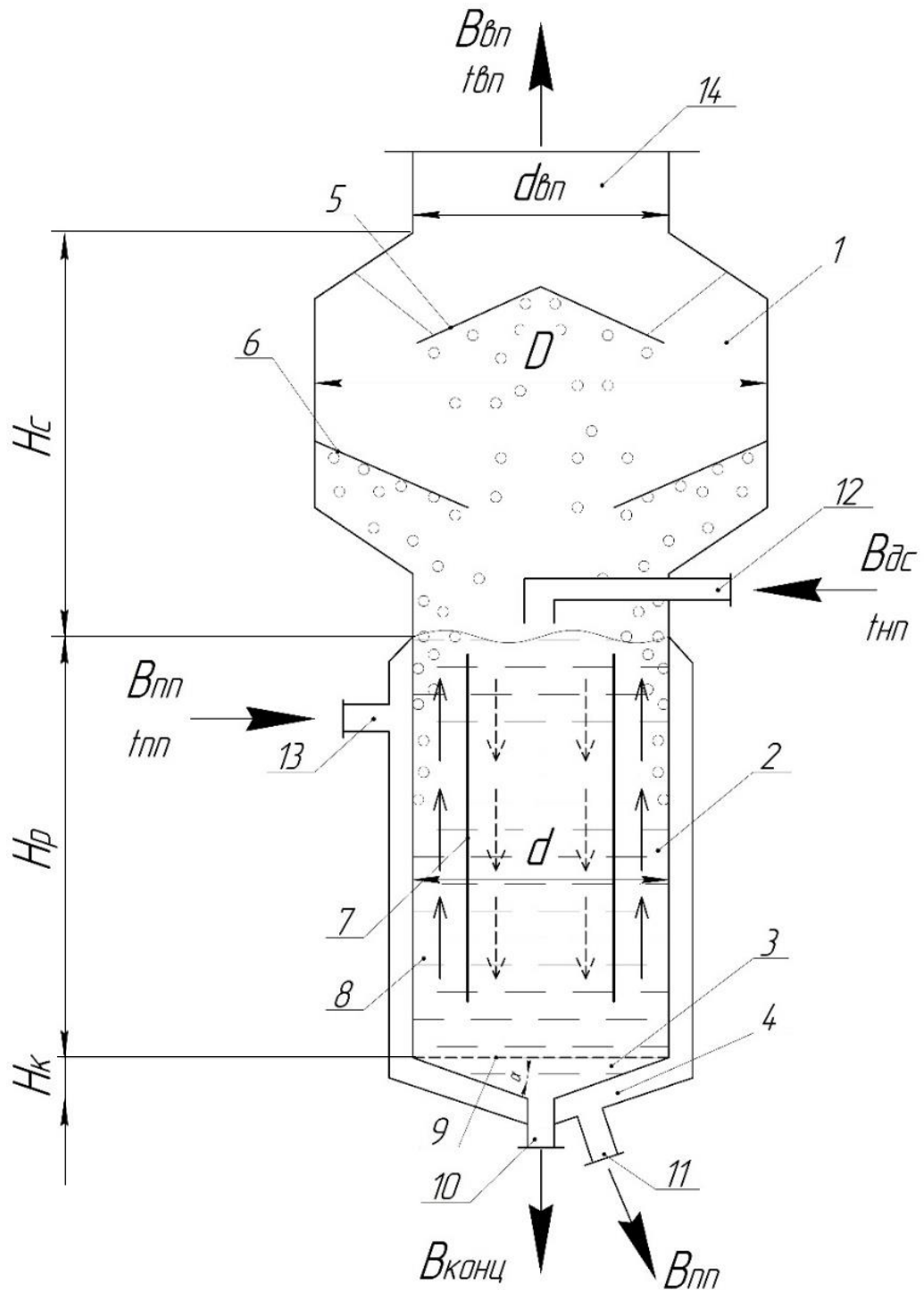


Рисунок 4.2 – Расчетная схема выпарного аппарата: 1 – зона сепарации; 2 – рабочая зона; 3 – зона отбора концентрата; 4 – рубашка; 5, 6 – каплеотбойник; 7 – циркуляционная труба; 8 – межтрубное пространство; 9 – перфорированная решетка; 10, 11, 12, 13, 14 – патрубки

Принцип действия выпарного аппарата заключается в следующем: диффузионный сок через патрубок 12 подается в рабочую зону 2 выпарного

аппарата, где он нагревается до температуры кипения. Нагрев осуществляется с помощью пара, подаваемого через патрубок 13 в рубашку 4. Конденсат отводится через патрубок 11 в нижней части рубашки 4.

Диффузионный сок циркулирует внутри аппарата, опускаясь через циркуляционную трубу 7 и поднимаясь по межтрубному пространству 8, образуя нисходящие и восходящие потоки.

Выпариваемый раствор нагревается и кипит с образованием вторичного пара. Отделение пара от жидкости происходит в зоне сепарации 1. Вторичный пар освобождается от брызг и капель с помощью двухступенчатого каплеотбойника 5-6 и удаляется из верхней части зоны сепарации 1 через патрубок 14.

Упаренный сок удаляется из зоны отбора концентрированного сока 3 выпарного аппарата через патрубок 10. В зоне отбора за счет перфорированной решетки 9 создается ламинарное движение сока.

Циркуляционная труба обеспечивает циркуляционное движение жидкости внутри аппарата. Для обеспечения оптимальной работы аппарата диаметр циркуляционной трубы должен быть согласован с диаметром выпарного аппарата. Если рассматривать выпарной аппарат изнутри, то он делится на две зоны: зону восходящих потоков и зону нисходящих потоков. Сечения этих двух зон должны быть равны:

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}, \quad (4.1)$$

где  $D$  - диаметр выпарного аппарата, м;  $d$  – диаметр циркуляционной трубы, м.

Из уравнения (4.1) можно определить диаметр циркуляционной трубы:

$$d = \sqrt{\frac{D^2}{2}} = 0,7D. \quad (4.2)$$

При несоблюдении зависимости (4.1) в аппаратах с естественной циркуляцией может быть нарушен баланс между движущей силой процесса

циркуляции (разность плотностей нагретого и охлажденного растворов) и гидравлическим сопротивлением.

Тогда из совместного решения уравнений (2.11) и (2.12) можно определить требуемую расчетную поверхность  $F$  для нагрева диффузионного сока:

$$F = \frac{M_{\text{вп}} r + M_{\text{дс}} C_c (t_k - t_n) + Q_{\text{п}}}{k \cdot \Delta t}. \quad (4.3)$$

Совместным решением (2.14), (2.15) и (2.21) можно получить соотношение для расчета требуемой расчетной поверхности для нагрева диффузионного сока от давления в выпарном аппарате:

$$F = \frac{M_{\text{вп}} r + n M C_c (t_k - t_n) + Q_{\text{п}}}{k (t_{\text{гп}} - (\frac{B}{A - l g P} - C))}. \quad (4.4)$$

Моделирование процесса с помощью соотношения (4.4) позволяет получить зависимость поверхности нагрева  $F$  от давления  $P$  в выпарном аппарате при различном расходе исходного сырья  $M$ .

Поверхность нагрева выпарного аппарата зависит от диаметра  $D$ , высоты рабочей зоны  $H_p$  и определяется соотношением:

$$F = \frac{\pi D^2}{4 \cos \alpha} + \pi D H_p, \quad (4.5)$$

где  $H_p$  – требуемая рабочая высота выпарного аппарата, м.

Преобразовав формулу (4.5), можно определить требуемую расчетную рабочую высоту выпарного аппарата  $H_p$ :

$$H_p = \frac{F}{\pi D} - \frac{D}{4 \cos \alpha}. \quad (4.6)$$

Совместным решением (2.18), (4.4) и (4.6) получаем соотношение для расчета высоты рабочей зоны в зависимости от расхода по сырью, условий теплопередачи и интенсивности выпаривания:

$$H_p = \frac{M_{\text{ВП}}r + nMC_c(t_k - t_n) + Q_{\text{П}}}{\pi Dk(t_{\text{ГП}} - (\frac{B}{A - lgP} - C))} - \frac{D}{4\cos\alpha}. \quad (4.7)$$

Высота зоны отбора концентрированного сока рассчитывается по формуле:

$$H_k = \frac{D}{2}tg\alpha. \quad (4.8)$$

Высота зоны сепарации определяется временем, необходимым для осаждения капель унесенного раствора [16]:

$$H_c = \omega'_{\text{ВП}}\tau, \quad (4.9)$$

где  $\tau$  – время осаждения капель, с;  $\omega'_{\text{ВП}}$  – скорость вторичного пара в зоне сепарации, м/с.

Время осаждения капель  $\tau = 3 - 10$  с. Скорость вторичного пара в зоне сепарации  $\omega'_{\text{ВП}} = 0,1 - 0,5$  м/с.

Общая высота выпарного аппарата рассчитывается по формуле:

$$H_o = H_p + H_k + H_c. \quad (4.10)$$

Диаметр выпарного аппарата в зоне сепарации рассчитывается по формуле:

$$D_c = \sqrt{\frac{4B_{\text{ВП}}}{\pi\omega'_{\text{ВП}}\rho_{\text{ВП}}}}. \quad (4.11)$$

Диаметр патрубка отвода вторичного пара с учетом (2.14) рассчитывается по соотношению:

$$d_{\text{ВП}} = \sqrt{\frac{4nM\left(1 - \frac{b_{\text{КОНЦ}}}{b_{\text{ДС}}}\right)}{\pi\omega_{\text{ВП}}\rho_{\text{ВП}}}}, \quad (4.12)$$

где  $\rho_{\text{ВП}}$  – плотность вторичного пара, кг/м<sup>3</sup>.

Значение скорости отвода вторичного пара  $\omega_{\text{ВП}}$  из выпарного аппарата находится в пределах 0,5 – 1,0 м/с.

Моделирование процесса с помощью соотношения (4.12) позволяет получить зависимость диаметра патрубка для отвода вторичного пара  $d_{\text{ВП}}$  от

расхода исходного сырья  $M$  при разных давлениях  $P$  в выпарном аппарате.

Диаметр патрубка подвода первичного пара  $d_{\text{пп}}$  в греющую рубашку определяется по формуле:

$$d_{\text{пп}} = \sqrt{\frac{4(M_{\text{вп}}r + M_{\text{дс}}C_c(t_k - t_n) + Q_{\text{п}})}{r\pi\omega_{\text{пп}}\rho_{\text{пп}}}}, \quad (4.13)$$

где  $\omega_{\text{пп}}$  – скорость первичного пара, м/с;  $\rho_{\text{пп}}$  – плотность пара, кг/м<sup>3</sup>.

Моделирование процесса с помощью соотношений (2.12) и (4.13) позволяет получить зависимость диаметра патрубка для подвода пара  $d_{\text{пп}}$  от расхода исходного сырья  $M$ .

Толщина стенки выпарного аппарата определяется по формуле:

$$s = \frac{D}{2} \left( \sqrt[3]{\frac{P}{E} + 1} \right). \quad (4.14)$$

где  $E$  – модуль упругости материала для нержавеющей стали 08X18H10T, МПа.

Моделирование процесса с помощью соотношения (4.14) позволяет получить зависимость толщины стенки  $s$  выпарного аппарата от остаточного давления  $P$  при различных диаметрах  $D$  выпарного аппарата.

Разработанная методика представляет собой алгоритм последовательного расчета, позволяющий определить все основные конструктивные параметры выпарного аппарата в зависимости от заданной производительности и выбранного режима работы, что является основой для его проектирования и оптимизации.

### **4.3 Анализ результатов моделирования конструктивных параметров узла концентрирования**

Исходными данными для моделирования взяты следующие значения: коэффициент выхода сока  $n = 1,25$ ; масса исходного сырья  $M = 10,0$  кг/ч;

концентрация диффузионного сока (по жидкой фазе)  $b_{дс} = 92 \%$ ; концентрация концентрата (по жидкой фазе)  $b_{конц} = 40 \%$ ; коэффициент теплопередачи  $k = 500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ ;  $\alpha = 25^\circ$ ; давление в аппарате  $P = 12 \text{ кПа}$ ;  $\Delta R = 0,03 \text{ м}$ ; скорость вторичного пара в сепараторе  $\omega'_{вп} = 0,1 \text{ м/с}$ ; скорость вторичного пара в паропроводе  $\omega_{вп} = 0,5 \text{ м/с}$ ; скорость первичного пара в паропроводе  $\omega_{пп} = 20 \text{ м/с}$ ; константы уравнения Антуана:  $A = 8,07131$ ,  $B = 1730,63$ ,  $C = 233,426$ ; скрытая теплота парообразования воды  $r = 2300 \text{ кДж/кг}$ ; плотность первичного пара  $\rho_{пп} = 1,1 \text{ кг/м}^3$ ; плотность вторичного пара  $\rho_{вп} = 0,3 \text{ кг/м}^3$ ; модуль упругости материала  $E = 1,93 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ .

На рисунке 4.3 представлены расчетные зависимости межтрубного расстояния (разницы радиуса выпарного аппарата  $\frac{D}{2}$  и радиуса циркуляционной трубы  $\frac{d}{2}$ ) от диаметра выпарного аппарата  $D$ .

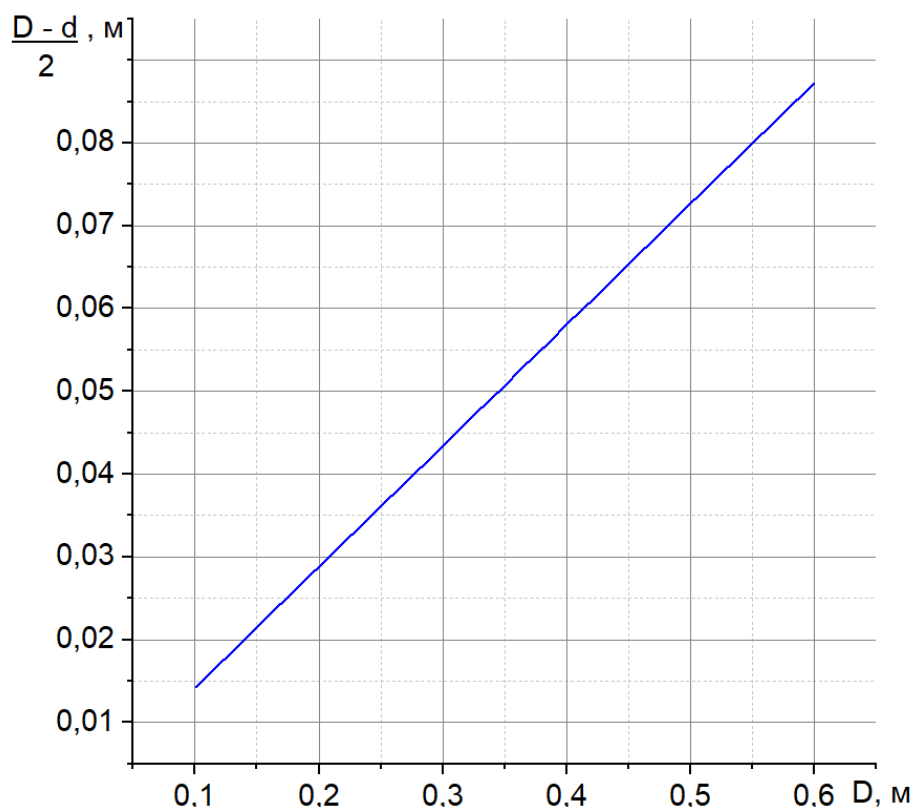


Рисунок 4.3 – Расчетная зависимость межтрубного расстояния от диаметра выпарного аппарата

От межтрубного расстояния зависит коэффициент теплопередачи  $k$  и интенсивность циркуляции (чем меньше расстояние в межтрубном пространстве, тем интенсивнее циркуляция и больше коэффициент теплопередачи  $k$ ).

На рисунке 4.4 представлены расчетные зависимости высоты рабочей зоны  $H_p$  выпарного аппарата от его диаметра  $D$  и при различных расходах исходного сырья  $M$ .

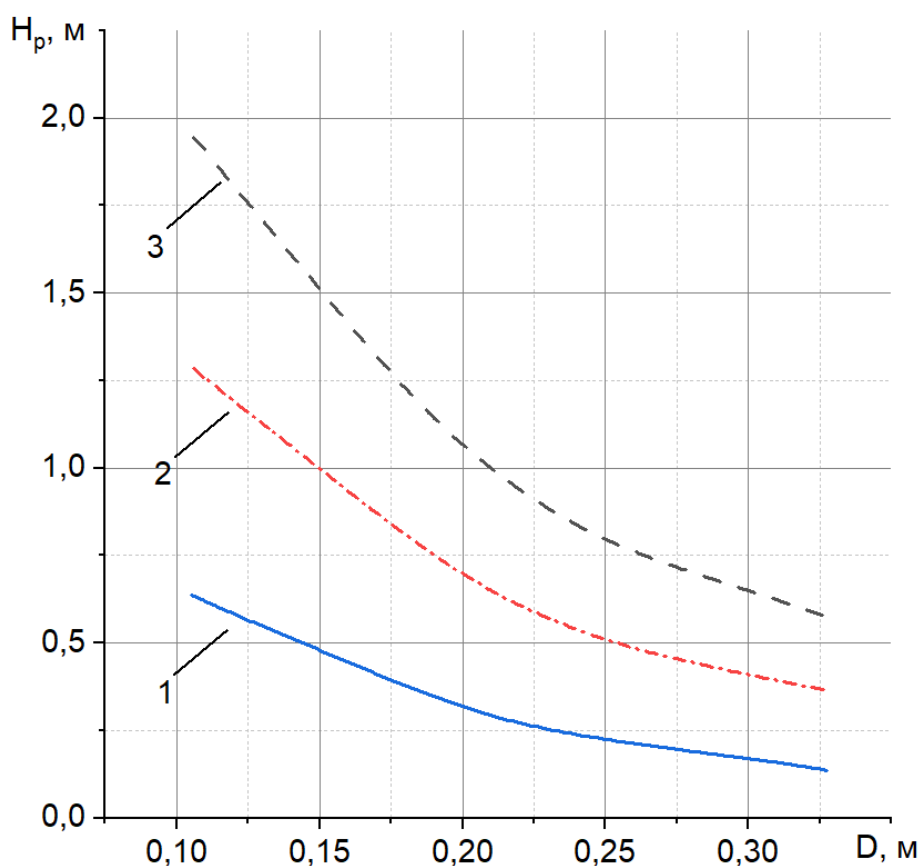


Рисунок 4.4 – Расчетные зависимости высоты рабочей зоны выпарного аппарата от его диаметра при различных расходах исходного сырья: 1 –  $M = 5,0$  кг/ч; 2 –  $M = 10,0$  кг/ч; 3 –  $M = 15,0$  кг/ч

Приведенные зависимости позволяют определить рациональное соотношение между высотой рабочей зоны  $H_p$  и диаметром  $D$  при различных значениях производительности  $M$  выпарного аппарата.

Например, при производительности  $M = 5,0$  кг/ч целесообразно выбрать стандартный диаметр аппарата  $D = 0,15$  м; при производительности  $M = 10,0$  кг/ч диаметр  $D = 0,2$  м; при производительности  $M = 15,0$  кг/ч диаметр  $D = 0,25$ . При этих условиях высота рабочей зоны  $H_p$  выпарного аппарата не превышает  $0,75$  м.

На рисунке 4.5 показана зависимость поверхности нагрева  $F$  от давления  $P$  в выпарном аппарате при различных расходах исходного сырья  $M$ .

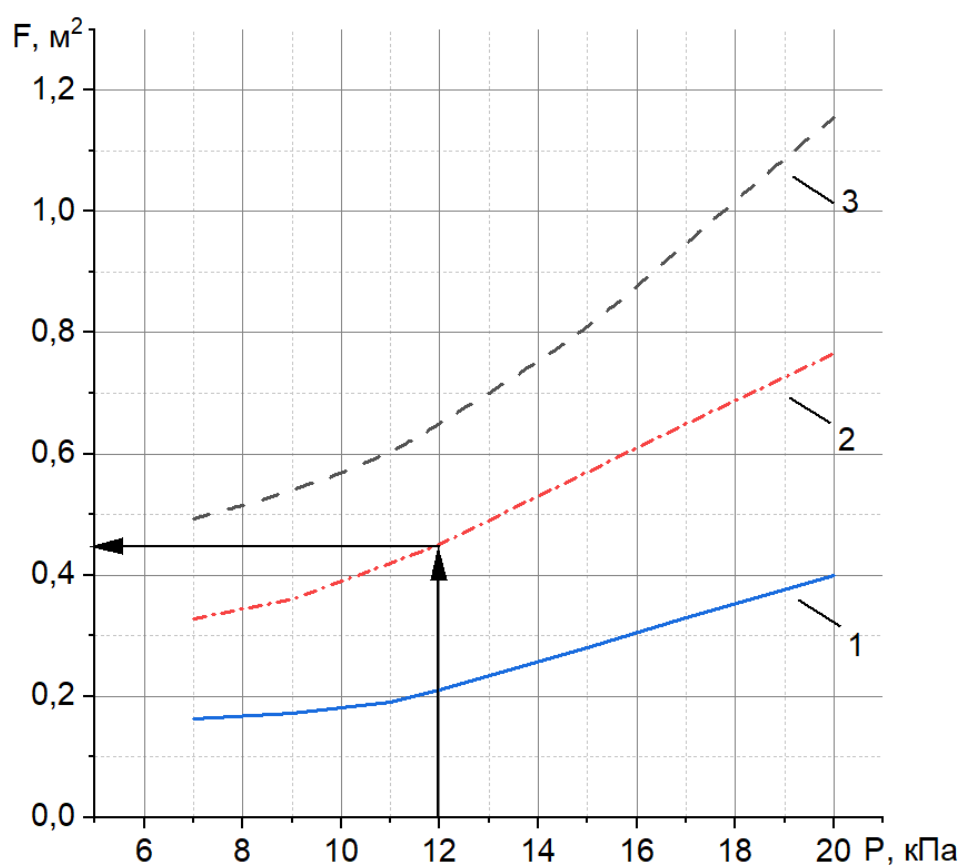


Рисунок 4.5 – Расчетные зависимости поверхности нагрева  $F$  от давления  $P$  в выпарном аппарате при различных расходах исходного сырья: 1 –  $M = 5,0$  кг/ч; 2 –  $M = 10,0$  кг/ч; 3 –  $M = 15,0$  кг/ч

Приведенные зависимости позволяют определить требуемую поверхность нагрева  $F$  в зависимости от производительности  $M$  выпарной установки и остаточного давления  $P$  в нем, например, для

производительности  $M = 10,0$  кг/ч при остаточном давлении  $P = 12$  кПа необходимая поверхность нагрева составляет  $F = 0,45$  м<sup>2</sup>.

На рисунке 4.6 представлены расчетные зависимости высоты выпарного аппарата  $H_p$  от поверхности нагрева  $F$  при различных диаметрах выпарного аппарата  $D$ .

Приведенные зависимости позволяют по рассчитанной поверхности нагрева  $F$  и выбранному стандартному диаметру  $D$  определить уточненную высоту рабочей зоны  $H_p$  выпарного аппарата. Для поверхности нагрева  $F = 0,45$  м<sup>2</sup> и диаметре рабочей зоны выпарного аппарата  $D = 0,2$  м уточненная высота рабочей зоны  $H_p$  составляет 0,65 м. Высота зоны отбора концентрированного сока  $H_k$  составила 0,04 м.

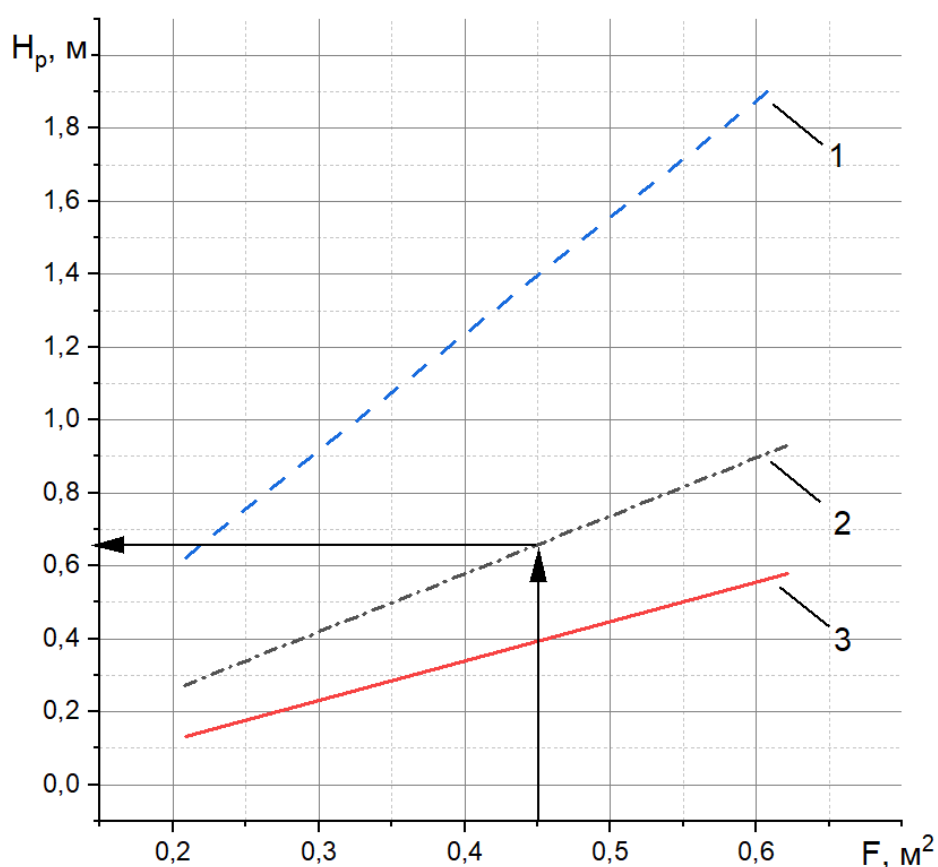


Рисунок 4.6 – Расчетные зависимости высоты рабочей зоны выпарного аппарата от поверхности нагрева при различных диаметрах аппарата: 1 –  $D = 0,1$  м; 2 –  $D = 0,2$  м; 3 –  $D = 0,3$  м

При скорости вторичного пара в зоне сепарации  $\omega'_{\text{ВП}} = 0,1$  м/с диаметр выпарного аппарата в зоне сепарации  $D_c$  составляет 0,25 м. Высота зоны сепарации  $H_c$  при этом составляет 0,3 м. Общая высота выпарного аппарата  $H_0$  в соответствии с формулой (4.10) составила 0,99 м.

На рисунке 4.7 представлены расчетные зависимости диаметра патрубка для отвода вторичного пара  $d_{\text{ВП}}$  от расхода исходного сырья  $M$  при различных давлениях  $P$  в выпарном аппарате.

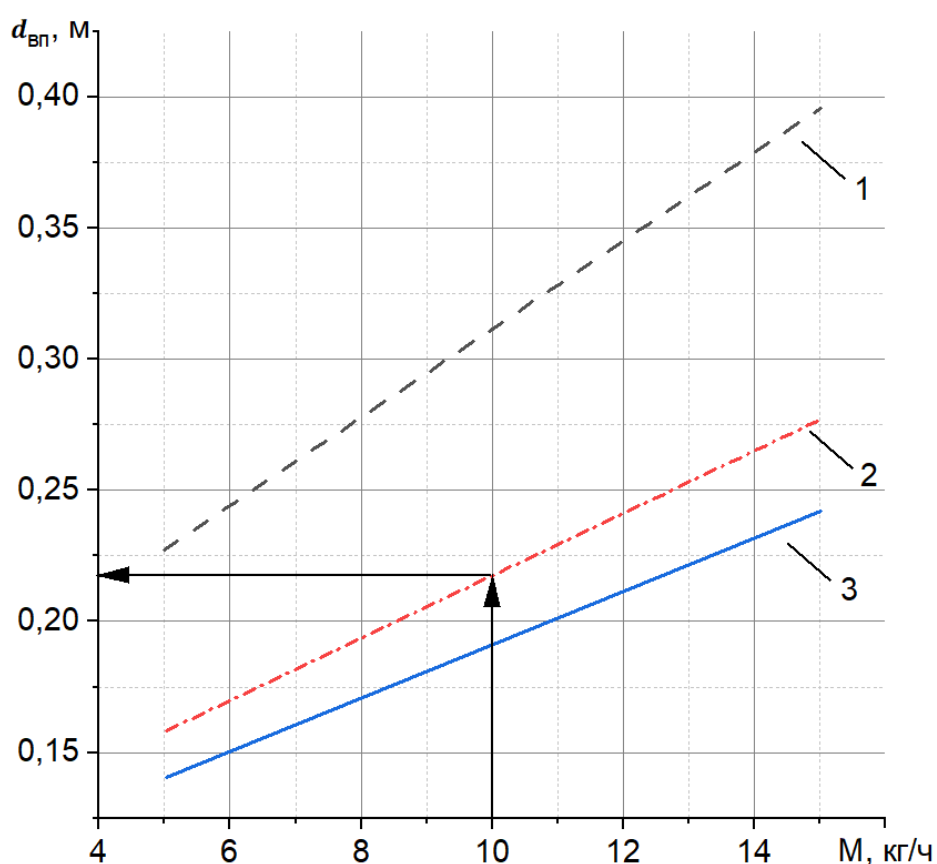


Рисунок 4.7 – Расчетные зависимости диаметра патрубка для отвода вторичного пара  $d_{\text{ВП}}$  от расхода исходного сырья  $M$  при разных давлениях  $P$ :  
 1 –  $P = 7$  кПа; 2 –  $P = 12$  кПа; 3 –  $P = 20$  кПа

При расходе исходного сырья  $M = 10,0$  кг/ч и давлении в выпарном аппарате  $P = 12$  кПа минимальный диаметр патрубка для отвода вторичного пара  $d_{\text{ВП}}$  составляет 0,23 м. Стандартной условный проход (DN) по ГОСТ

28338-89 составляет 250 мм (DN250).

Диаметр патрубка подвода первичного пара  $d_{\text{пп}}$  в греющую рубашку выпарного аппарата составил 0,018 м. Стандартной условный проход (DN) по ГОСТ 28338-89 составляет 20 мм (DN20).

На рисунке 4.8 представлены расчетные зависимости толщины стенки  $s$  выпарного аппарата от давления в нем  $P$  при различных диаметрах выпарного аппарата  $D$ .

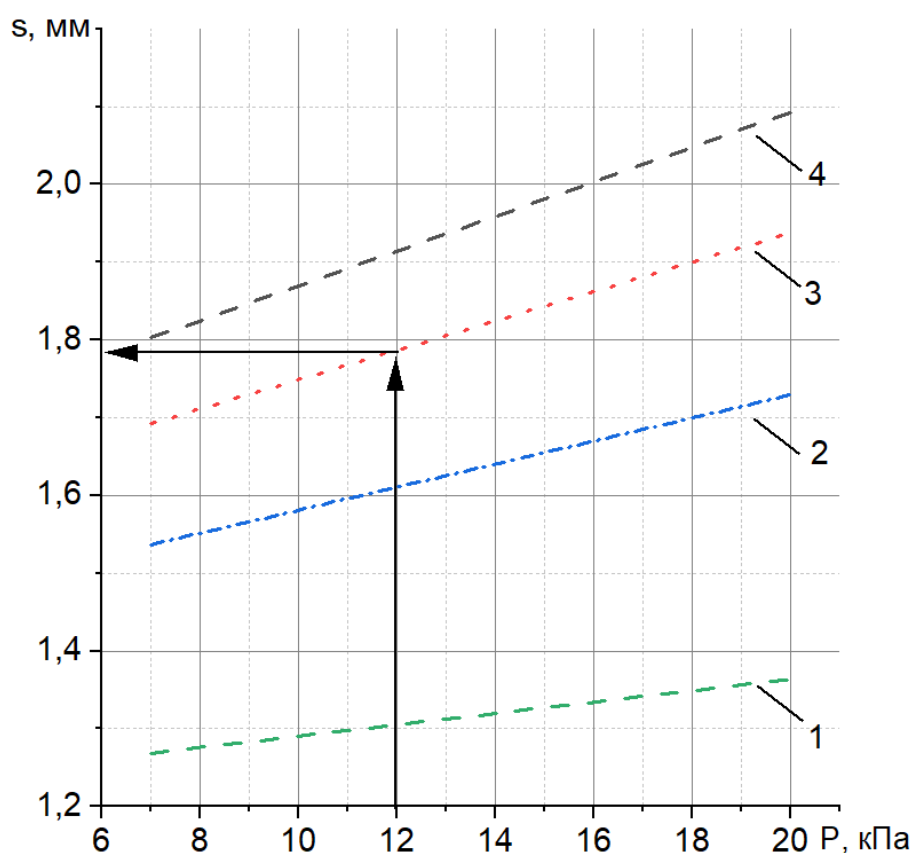


Рисунок 4.8 – Расчетные зависимости толщины стенки выпарного аппарата от давления в нем при различных диаметрах аппарата: 1 –  $D = 0,1$  м; 2 –  $D = 0,2$  м; 3 –  $D = 0,25$  м; 4 –  $D = 0,3$  м

Приведенные зависимости позволяют определить требуемую толщину стенок  $s$  выпарного аппарата в зависимости от остаточного давления  $P$  в нем при различных диаметрах  $D$  выпарного аппарата,

например, для рабочей зоны выпарного аппарата диаметром  $D = 0,2$  м при остаточном давлении  $P = 12$  кПа толщина стенок  $s$  будет составлять более 1,63 мм, а для зоны сепарации диаметром  $D = 0,25$  м толщина стенок  $s$  будет составлять более 1,79 мм. Стандартная толщина листов для изготовления выпарного аппарата по ГОСТ 9941-81 равна 2,0 мм.

Разработанный метод расчета выпарного аппарата позволяет выявить рациональные геометрические размеры парового однокорпусного выпарного аппарата с естественной циркуляцией, центральной циркуляционной трубой и встроенным сепаратором в зависимости от производительности по сырью  $M$  и рабочего давления  $P$  в аппарате.

#### 4.4 Технико-экономическое обоснование

Оценка экономической эффективности является заключительным и решающим этапом обоснования целесообразности промышленного внедрения разработанной технологии. Расчеты выполнены для проектируемой технологической линии производительностью 160 кг свежего сырья (ветки с плодами) в сутки, что соответствует годовому объему переработки около 48 тонн (при 300 рабочих днях)

Потребление электроэнергии оборудованием составляет порядка 45 кВт, что приводит к потреблению около 720 кВт·ч в сутки. Для конденсатора требуется охлаждающая вода, ее объем составляет примерно 0,09 м<sup>3</sup>/ч.

Общая численность работников составляет около 20 человек, что обеспечивает эффективное функционирование установки. Для размещения технологического оборудования потребуются цех площадью порядка 100 м<sup>2</sup> с зонированием на участки приемки, санитарной обработки сырья и сепарации, отжима сока, отжима масла, экстракции масла, паровзрывной обработки и сушки, склад готового продукта. Кроме того, предусмотрены

помещения для хранения сырья и вспомогательные помещения.

Высота помещения около 7 м, что необходимо для размещения оборудования. Учитывая работу с легковоспламеняющейся жидкостью (гексан), цех должен соответствовать категории В (пожароопасная), что предполагает использование взрывоопасного электрооборудования и обеспечения эффективной вентиляции для минимизации рисков.

В таблице 4.1 приведены значения укрупненного расчета технико-экономических показателей.

*Таблица 4.1 – Расчет технико-экономических показателей*

<b>Показатель</b>	<b>Значение (оценочное)</b>
Производительность	40 кг/сутки концентрата
Потребность в сырье	160 кг/сутки (ветки с плодами)
Растворитель	Гексан
Электроэнергия	720 кВт·ч
Вода технологическая	0,09 м <sup>3</sup> /ч
Персонал	20 человек
Фонд оплаты труда	25 млн. руб.
Капитальные затраты	80 млн. руб. (оборудование, монтаж, проект)
Себестоимость продукции	Концентрат: 800 – 1 000 руб/кг; Масло холодного отжима мякоти – 2000 руб/кг; Масло холодного отжима семян – 2000 руб/кг; Масло экстракционное – 200 руб/кг; Биологически активный комплекс с серотонином – 400 руб/кг.
Рыночная цена	Концентрат – 1500 – 2000 руб/кг; Масло холодного отжима мякоти – 5000 руб/кг; Масло холодного отжима семян – 25 000 руб/кг; Масло экстракционное – 500 руб/кг; Биологически активный комплекс с серотонином – 4 000 руб/кг.

*Продолжение таблицы 4.1*

Доход за сутки (160 кг сырья)	Концентрат – 80 000 руб; Масло холодного отжима мякоти – 1 500 руб; Масло холодного отжима семян – 2 500 руб; Масло экстракционное – 500 руб; Биологически активный комплекс с серотонином – 120 000 руб; Итого – 204 500 руб.
Годовой доход (48 т сырья)	61,35 млн. руб.
Годовая прибыль	50 млн. руб.
Срок окупаемости	1,6 года

Ожидаемый экономический эффект от внедрения технологии комплексной переработки облепихи составляет 50 млн. руб. при сроке окупаемости проекта 1,6 года.

Таким образом, организация комплексной переработки облепихи на АО «Ласкрафт» (г. Казань) позволит не только повысить эффективность существующего предприятия, но и обеспечить внутренний рынок ценным отечественным сырьем, снизив зависимость от импорта продуктов функционального назначения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны методы определения коэффициентов массопроводности для процессов извлечения масла из выжимок облепихи и метод расчета коэффициента теплопередачи в вакуумном выпарном аппарате с циркуляционной трубой при концентрировании диффузионного сока. Экспериментально определены значения коэффициента массопроводности для отпрессованных пластин жома мякоти ( $1,09 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с) и семян ( $5,65 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с). Получена регрессионная зависимость для расчета коэффициента теплопередачи, учитывающая влияние остаточного давления и межтрубного расстояния в выпарном аппарате.

2. На основе математического моделирования процесса паровзрывной обработки побегов облепихи выявлены рациональные параметры влагонасыщения для получения биологически активного комплекса, содержащего серотонин (пат. № 2792374). Установлено, что оптимальный режим обработки соответствует остаточному давлению 0,9 – 1,0 МПа и продолжительности 4 – 5 мин, что обеспечивает влагосодержание материала до 120 %.

3. Моделированием процесса концентрирования диффузионного сока в выпарном аппарате с циркуляционной трубой определены рациональные параметры организации технологического процесса получения концентрата (пат. № 2794158, № 2813352). Установлено, что эффективное концентрирование сока достигается при остаточном давлении 7 – 12 кПа и температуре 40 – 50 °С, что позволяет минимизировать термическую деградацию биологически активных веществ.

4. В результате моделирования процесса экстракции масла из выжимок облепихи выявлены технологические параметры, обеспечивающие максимальный выход целевого продукта (пат. № 2838770). Рациональными режимами являются: гидромодуль 8 – 9; температура 30 – 35 °С; продолжительность процесса для жома мякоти  $60 \pm 5$  минут, для жома семян –  $70 \pm 5$  мин.

5. Разработана технология комплексной переработки облепихи

(пат. № 2797550) и аппаратурное оформление линии, обеспечивающие безотходное производство широкого спектра целевых продуктов: концентрата сока, масел холодного отжима из мякоти и семян, экстракционного масла, а также биологически активного комплекса с серотонином. Предложена инженерная методика расчета узла концентрирования, позволяющая определять рациональные геометрические параметры вакуум-выпарного аппарата. Технико-экономическое обоснование подтверждает эффективность разработки: ожидаемая годовая прибыль составляет 50 млн рублей, срок окупаемости проекта – 1,6 года.

**Перспективы дальнейшей разработки темы исследования.** Дальнейшее развитие темы направлено на углубление исследований комплексной переработки облепихи, включая извлечение дополнительных ценных компонентов из коры, листьев и древесной зелени для расширения ассортимента продуктов. Важным направлением выступает создание автоматизированной системы управления технологической линией, обеспечивающей стабильность качества продуктов. Требуется также углубленное исследование состава и функциональных свойств получаемых продуктов для обоснования их применения в производстве функционального питания, фармацевтических препаратов и косметических средств с высокой добавленной стоимостью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверьянова, Е. В. Биологическая ценность облепихи как основа ее комплексной безотходной переработки / Е. В. Аверьянова // Современная наука и инновации. – 2018. – № 3(23). – С. 104-111.
2. Авторское свидетельство № 137234 А1 СССР, МПК А61К 36/72, А61К 31/404. Способ получения серотонина: № 672784: заявл. 09.07.1960: опубл. 01.01.1961 / М. Ф. Петрова, П. С. Массажетов, Г. П. Меньшиков.
3. Азарова, О. В. Кора и побеги облепихи крушиновидной – новый сырьевой источник биологически активных веществ: специальность 11.00.11: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / О. В. Азарова. – Барнаул, 1998. – 19 с.
4. Артиков, А. А. Концентрирование соков в системе центрифугирование-выпаривание / А. А. Артиков, О. Р. Абдурахмонов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2006. – № 4. – С. 27-28.
5. Афанасьева, М. М. Применение мембранных процессов при производстве соков и соковой продукции / М. М. Афанасьева, В. Ю. Контарева // Аспекты животноводства и производства продуктов питания: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 110-й годовщине со дня рождения П. Е. Ладана, пос. Персиановский, 28-29 ноября 2018 года. – пос. Персиановский: Донской ГАУ, 2018. – С. 201-204.
6. Беккер, Л.П. Компоненты некоторых видов растений семейства Elaeagnaceae / Л. П. Беккер, А. И. Глушенкова // ХПС. – 2001. – № 2. – С. 87-102.
7. Богомолва Н. И. Уровень биологического потенциала продуктивности облепихи крушиновидной в естественных и промышленных насаждениях России / Н. И. Богомолва, М. В. Лупин // Вестник аграрной науки. – 2021. – №. 6 (93). – С. 62-67.
8. Большая российская энциклопедия: в 30 т. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2005. – 1008 с.

9. Боровкова, Э. В. Совершенствование методики расчета выпарных аппаратов / Э. В. Боровкова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – № 3. – С. 407-412.

10. Бурак Л. Ч. Ферментированные продукты питания с использованием плодов облепихи. Обзор / Л. Ч. Бурак, А. Н. Сапач // Кронос: естественные и технические науки. – 2021. – №. 4 (37). – С. 32-46.

11. Васильева Н. А. Биохимический состав и технологическая оценка бурятских сортов облепихи / Н. А. Васильева, Н. К. Гусева, Ю. М. Батуева // Успехи современного естествознания. – 2016. – №. 1. – С. 61-65.

12. Величко, Н. А. Проектирование технологической линии для производства купажированного сока из мелкоплодных яблок и ягод облепихи / Н. А. Величко, Н. И. Авдиенко // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: материалы XIV международной научно-практической конференции, Красноярск, 22-23 апреля 2015 года / отв. за вып.: А. А. Кондрашев, Е. И. Сорокатая. – Красноярск: Красноярский ГАУ, 2015. – С. 124-126.

13. Гатин, Ж. И. Облепиха – новая садовая культура на Алтае: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Ж. И. Гатин. – Москва, 1962. – 26 с.

14. Гачечиладзе, Н. Д. Химическое изучение облепихи *Hipporhae rhamnoides*, L. произрастающей на Западном Памире: специальность 02.00.10 «Биоорганическая химия»: диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук / Гачечиладзе Наталья Дмитриевна. – Душанбе, 1984. – 142 с.

15. Гольдберг, Е. Д. Создание новых лекарственных препаратов из облепихи крушиновидной для использования в лечении злокачественных новообразований / Е. Д. Гольдберг, Е. П. Зуева, О. Н. Коновалова, М. Н. Стахеева, Е. Н. Амосова, Т. Г. Разина, С. Г. Крылова, В. Ф. Турецкова // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2001. – № 1. – С. 46-50.

16. Гуленкова, Г. С. Особенности биохимического состава плодов облепихи // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2013. – №. 11. – С. 262-265.

17. Гуленкова, Г.С. Исследование жирнокислотного состава плодов облепихи (*Hipporhamnoides*L.) / Г. С. Гуленкова, Г. Г. Чепелева // Идентификация и фальсификация продовольственных товаров. – Красноярск, 2007. – С. 91-94.

18. Дугарова, И. К. Комплексное использование плодов облепихи в производстве пищевых продуктов / И. К. Дугарова, Г. Ц. Цыбикова, И. Т. Александрова // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2016. – №. 3 (18). – С. 128-134.

19. Елисеев, И. П. Плодово-ягодные культуры. / Елисеев И. П., Шумратова Т. И. // Тр. ГСХИ. Горький: ГСХИ, 1974. – Т. 77. – С. 94-100.

20. Елисеева, Т. Облепиха (лат. *Hippóphaë*) / Т. Елисеева, А. Ямпольский // Журнал здорового питания и диетологии. – 2020. – Т. 4, №. 14. – С. 2-15.

21. Емельянов, К. А. Метод получения восстановленного сока / К. А. Емельянов // Инновационные технологии – основа модернизации отраслей производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы международной научно-практической конференции, Волгоград, 05-07 июля 2011 года. – Волгоград: ГНУ Поволжский НИИПП ММП Россельхозакадеми. – 2011. – С. 313-316.

22. Ершова, И. В. Оценка алтайских сортов и гибридов облепихи по биохимическому составу плодов / И. В. Ершова // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 7. – С. 11-12.

23. Ефремов, А.П. Лекарственные растения и грибы средней полосы России // Фитон XXI. – 2021. С. 504.

24. Зенькова, М. Л. Сравнительная оценка химического состава и технологических свойств сортовой облепихи Беларуси / М. Л. Зенькова,

В. Н. Тимофеева, А. В. Акулич // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2007. – № 8. – С. 24-26.

25. Зиатдинова, Д. Ф. Комплексная переработка облепихи / Д. Ф. Зиатдинова, Е. Н. Соловьева, Р. Г. Сафин, А. А. Масагутов // Деревообрабатывающая промышленность. – 2025. – № 1. – С. 36-44.

26. Зиатдинова, Д. Ф. Методика расчета выпарного аппарата в установке производства концентрированного облепихового сока / Д. Ф. Зиатдинова, Е. Н. Соловьева, Р. Г. Сафин, Б. Г. Зиганшин // Техника и технологии в животноводстве. – 2025. – Т. 15, № 4. – С. 72-82.

27. Зиатдинова, Д. Ф. Моделирование процесса экстрагирования масла из продуктов переработки облепихи / Д. Ф. Зиатдинова, Р. Г. Сафин, Е. Н. Соловьева // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2025. – Т. 26, № 4. – С. 816-826.

28. Золотарева, А. М. Использование древесной зелени облепихи при производстве хлебобулочных изделий / А. М. Золотарева, Г. С. Боропоева, Т. М. Чиркина, А. Б. Павлова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2003. – № 1. – С. 80-81.

29. Золотарева, А. М. Использование древесной зелени облепихи при производстве хлебобулочных изделий / А. М. Золотарева, Г. С. Боропоева, Т. М. Чиркина, А. Б. Павлова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2003. – № 1. – С. 80-81.

30. Золотарева, А. М. Технология переработки облепихового сока / А. М. Золотарева // Вестник ВСГТУ. – 2009. – № 1. – С. 66-71.

31. Золотухин, М. М. Роль серотонина в организме человека / М. М. Золотухин, Е. М. Дорошенко, А. В. Наумов, В. Ю. Смирнов // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. – 2025. – Т. 23, № 4. – С. 303-310.

32. Зубарев, Ю. Л. Облепиха история и перспективы международного научного сотрудничества / Ю. Л. Зубарев // Достижения науки и техники

АПК. – 2009. – №. 7. – С. 3-4.

33. Кабишев, К. Э. Фитопрепараты в отечественной дерматологической практике / К. Э. Кабишев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2005. – №. 1. – С. 189-204.

34. Кароматов, И. Д. Облепиха - лечебное и профилактическое средство народной и научной медицины / И. Д. Кароматов // Биология и интегративная медицина. – 2017. – № 8. – С. 41-73.

35. Касьянов, Г. И. Совершенствование технологии комплексной переработки плодов облепихи / Г. И. Касьянов, К. К. Мустафаева, М. Г. Редько // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2014. – № 1(337). – С. 77-79.

36. Ковалева, Н. А. Изучение морфологических признаков листьев облепихи крушиновидной методами люминесцентной и стереомикроскопии / Н. А. Ковалева, О. В. Тринеева, А. А. Гудкова, А. И. Сливкин // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2022. – Т. 11, № 1. – С. 123-131.

37. Ковалева Н. А. Исследование элементного состава облепихи крушиновидной листьев / Н. А. Ковалева, О. В. Тринеева // Микроэлементы в медицине. – 2022. – Т. 23. – №. 3. – С. 45-58.

38. Кокоева, А. А. Исследование биохимического состава и направлений использования облепихового масла / А. А. Кокоева, С. А. Фиापшева, Д. М. Вариева // Перспектива – 2024: Материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3-х томах, Нальчик, 26–29 апреля 2024 года. – Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, 2024. – С. 105-109.

39. Кольтюгина, О. В. Исследование химического состава плодов облепихи и возможности использования ее в продуктах питания // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 87, №. 1. – С. 82-84.

40. Кольтюгина, О. В. Исследование химического состава плодов

облепихи и возможности использования ее в продуктах питания // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 87, №. 1. – С. 82-84.

41. Кошелев, Ю.А., Агеева Л.Д. Облепиха. Бийск: БПГУ им. В. М. Шушкина, 2004. С. 320.

42. Кузнецова, Е. А. Совершенствование технологии производства ягодного сока функционального назначения с использованием газоразделительных мембран: специальность 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Кузнецова Екатерина Александровна, 2019. – 134 с.

43. Кузнецова, Е. А. Содержание кислорода в соке и соковой продукции при использовании процесса вакуумирования / Е. А. Кузнецова, А. И. Завражнов // Наука в центральной России. – 2018. – № 3(33). – С. 78-85.

44. Кузнецова, Л. Н. Расчет выпарных установок: учеб. пособие: [для студентов химико-технол. фак. всех специальностей и заоч. фак. по специальности 260300 «Технология хим. переработки древесины»] / Л. Н. Кузнецова, Л. И. Селянина, С. И. Третьяков; М-во образования и науки Рос. Федерации, Арханг. гос. техн. ун-т, 2004.

45. Лоскутова, Г. А. Влияние сроков сбора плодов облепихи на химический состав и качество продуктов переработки / Г. А. Лоскутова, О. В. Кольтюгина // Ползуновский альманах. – 2006. – № 2. – С. 92-94.

46. Лыков, А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.

47. Макаркина, М. А. Содержание витамина С и каротиноидов в плодах различных сортов облепихи в условиях Средней полосы России / М. А. Макаркина, Н. И. Богомоллова, С. Е. Соколова // Современное садоводство. – 2011. – №1. – С. 33-37.

48. Матафонов, И.И. Облепиха (влияние на организм животного). Новосибирск: Наука, 1983. – С. 165.

49. Машкина, Е. И. Влияние облепихового жмыха на молочную продуктивность коров-первотелок / Е. И. Машкина, Е. С. Степаненко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 11 (145). – С. 99-102.

50. Мезенова, О. Я. Оценка биопотенциала дикорастущей облепихи и перспектив ее комплексного использования / О. Я. Мезенова, Й. Т. Мерзель, С. А. Воронцов, П. А. Воронцов // Вестник Международной академии холода. – 2020. – № 3. – С. 44-51.

51. Науменко Л. С. Исследование минерального состава сырья облепихи крушиновидной (*Hipporhaë rhamnoides* L.) / Л. С. Науменко, Н. В. Попова, Е. В. Гладух, Л. А. Бобрицкая // Norwegian Journal of Development of the International Science. – 2020. – № 38. – С. 46-49.

52. Наумова, Н. Л. Химический состав плодов облепихи крушиновидной / Н. Л. Наумова, Е. А. Велисевич // Modern Science. – 2021. – № 11. – С. 28-31.

53. Неклюдов, А. А. Повышение эффективности переработки плодов облепихи при производстве соков и сокосодержащей продукции / А. А. Неклюдов // Инновационные технологии пищевых производств. – 2021. – С. 50-53.

54. Нилова, Л. П. Токоферолы и токотриенолы: свойства, функции, природные источники. Аналитический обзор / Л. П. Нилова, Т. В. Пилипенко, И. Ю. Потороко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2021. – Т. 9, №. 1. – С. 68-81.

55. Новрузов, Э. Н. Биотехнология получения биологически активного концентрата из плодов *Hipporhaë rhamnoides* / Э. Н. Новрузов, Л. А. Мустафаева, А. М. Зейналова // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. – 2018. – № 3. – С 138-147.

56. Ободовская, Д.А. «Облепиха как сырье для витаминной промышленности», Москва, 1957 г. – 24 с.

57. Павлова, А. Б. Биологически активная пищевая добавка на основе древесной зелени облепихи / А. Б. Павлова, Т. Ф. Чиркина, А. М. Золотарева // Химия растительного сырья. – 2001. – №. 4. – С. 73-76.

58. Пантелеева, Е. И. Пищевое и лекарственное использование облепихи / Е. И. Пантелеева // Аграрная наука - сельскому хозяйству: сборник статей: в 3 книгах, Барнаул, 07-08 февраля 2017 года / Алтайский государственный аграрный университет. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2017. – С. 30-34.

59. Панченко, С. Л. Исследование процесса концентрирования настоев плодово-ягодного сырья методом вымораживания / С. Л. Панченко // Приоритетные направления развития науки в современном мире: Сборник научных статей по материалам VII Международной научно-практической конференции, Уфа, 02 февраля 2022 года. – Уфа: ООО «НИЦ «Вестник науки». – 2022. – С. 15-20.

60. Паньковский, Г. А. Расчет времени пребывания сока и потерь сахара в выпарной установке / Г. А. Паньковский // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2003. – № 4. – С. 1432.

61. Пат. 646977 СССР, МПК А23L 2/02. Способ получения диффузионного сока из плодово-ягодной или виноградной выжимки / Москаленко Р. И., Макштыле И. А., Машктылене З. Б. – № 2311888: заявл. 06.01.1976: опубл. 15.02.1979.

62. Пат. 2001587 Российская Федерация, МПК А23L 2/02. Сок с мякотью / Ройтман Ф. С.; заявитель и патентообладатель Ройтман Ф. С. – № 5036484: заявл. 08.04.1992: опубл. 30.10.1993.

63. Пат. 2020928 Российская Федерация, МПК А61К 8/97, А61К 8/34, А61Q 19/00. Способ получения биологически активной добавки к косметическим изделиям / С. Г. Рохленко, Л. Д. Агеева, Ю. А. Кошелев [и др.].;

№ 4916841/14: заявл. 06.03.1991: опубл. 15.10.1994

64. Пат. 2032719 Российская Федерация, МПК А61К 36/72, С11В 1/10. способ получения облепихового масла: № 4918969/13: заявл. 15.03.1991: опубл. 10.04.1995 / Л. С. Бекасов.

65. Пат. 2098111 Российская Федерация, МПК А61К 36/82, А61Р 31/12. Способ получения противовирусного препарата «гипорамин»: № 94011336/14: заявл. 30.03.1994: опубл. 10.12.1997 / О. Н. Толкачев, О. П. Шейченко, И. И. Фадеева [и др.]; заявитель Научно-производственное объединение «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений».

66. Пат. 2136193 Российская Федерация, МПК А23L 3/36, А23F 5/24, А23F 5/32. Вещество, инициирующее образование центров кристаллизации, и способ получения инициатора образования центров кристаллизации льда / Альфред Ж., Рольф Л., Петер Н., Мишель Р.; заявитель и патентообладатель Сосьете де Продюи Нестле С. А. – № 94042247/13: заявл. 29.11.1994: опубл. 10.09.1999.

67. Пат. 2159120 Российская Федерация, МПК А61К 36/72, А23L 1/302, А61К 9/06. Витаминная композиция / Тарабанько В. Е.; заявитель и патентообладатель Тарабанько В. Е. - № 99112288/14: заявл. 09.06.1999: опубл. 20.11.2000. – 3 с.

68. Пат. 2262864 Российская Федерация, МПК А23L 1/00, А23L 1/212, А23L 2/04. Способ переработки ягод облепихи / Семин А. Н., Евтушенко Н. С., Карпухин М. Ю. [и др.]; заявитель и патентообладатель Уральская государственная сельскохозяйственная академия (УрГСХА). – № 2003114278/13: заявл. 14.05.2003: опубл. 27.10.2005.

69. Пат. 2369273 Российская Федерация, МПК А23L 2/08. Способ получения восстановленного сока / Емельянов А. А., Емельянов К. А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Орловский государственный

технический университет» (ОрелГТУ). – № 2008107648/13: заявл. 27.02.2008: опубл. 10.10.2009.

70. Пат. 2394587 С1 Российская Федерация, МПК А61К 36/72, В01D 11/02, А61Р 1/16. Средство, обладающее гипохолестеринимическим, гиполипидемическим и желчегонным действием / С. А. Попов, Э. Т. Оганесян, А. Ю. Терехов [и др.]: заявл. 17.02.2009: опубл. 20.07.2010; заявитель Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук (НИОХ СО РАН) (статус государственного учреждения), ООО Компания «Сибирские натуральные масла» (Компания «СиНаМ»).

71. Пат. 2454880 Российская Федерация, МПК А23L 2/00. способ получения концентрата облепихи: № 2010152040/13: заявл. 21.12.2010: опубл. 10.07.2012 / Е. В. Алексеенко, С. Е. Траубенберг, Ю. М. Дикарева, Н. В. Осташенкова.

72. Пат. 2506953 Российская Федерация, МПК А61К 36/72, А61К 31/375, А61К 31/4045. Способ производства биологически активного комплекса – порошка из молодых побегов облепихи / А. Г. Одинец.; № 2012122596/15: заявл. 01.06.2012: опубл. 20.02.2014

73. Пат. 2533818 Российская Федерация, МПК А61К 31/4045, А61К 36/72, В01D 11/02. Способ получения порошковых препаратов, содержащих серотонин, из неплодовых частей облепихи / Рычков Д. А., Болдырева Е. В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ). – № 2013122248/04: заявл. 14.05.2013: опубл. 20.11.2014.

74. Пат. 2604141 Российская Федерация, МПК А61К 36/736, А61К 36/72, А61К 36/185. способ получения препарата фенольной природы из растительного сырья: № 2014150325/15: заявл. 11.12.2014: опубл. 10.12.2016 / А. В. Кулаков; заявитель Общество с ограниченной ответственностью

"Научно-производственная компания «Миламед».

75. Пат. 2649082 Российская Федерация, МПК G01N 15/08. Способ определения коэффициента диффузии жидкости в капиллярно-пористом теле при воздействии ультразвуком: № 2016150288: заявл. 20.12.2016: опубл. 29.03.2018 / В. Н. Ковальногов, Т. В. Карпухина, Р. В. Федоров [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет».

76. Пат. 2792374 Российская Федерация, МПК A61K 36/72, A61K 31/4045. Способ приготовления биологически активного комплекса, содержащего серотонин / Сафин Р. Г., Ахметханова Е. Н., Зиатдинова Д. Ф. [и др.]; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет». – № 2023102215: заявл. 01.02.2023: опубл. 21.03.2023.

77. Пат. 2794158 Российская Федерация, МПК A23N 1/00. Способ получения облепихового сока: № 2022120358: заявл. 26.07.2022: опубл. 12.04.2023 / Р. Г. Сафин, Е. Н. Ахметханова, Г. Р. Арсланова [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

78. Пат. 2797550 Российская Федерация, МПК A23N 4/02. Способ отделения семян ягод от мякоти: № 2022112081: заявл. 05.05.2022: опубл. 07.06.2023 / Р. Г. Сафин, Е. Н. Ахметханова, А. С. Родионов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

79. Пат. 2813352 Российская Федерация, МПК C11B 1/00. Способ получения масла и сока ягод облепихи / Сафин Р. Г., Ахметханова Е. Н.,

Ахметханова Е. М. [и др.]; заявитель и патентообладатель ООО «Эколайн». – № 2022126887: заявл. 17.10.2022: опубл. 12.02.2024.

80. Пат. 2838770 Российская Федерация, МПК А61К 36/72, В01D 11/02, А23L 2/04. Способ получения масла и сока из ягод облепихи: заявл. 12.07.2024: опубл. 22.04.2025 / Р. Г. Сафин, Е. Н. Соловьева, Л. Р. Назипова, Д. Ф. Зиатдинова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

81. Петрова, М.Ф. Исследование оснований коры *Pirrophae rhamnoides* / М. Ф. Петрова, Г. П. Меньшиков // Журн. общей химии. – 1961. – Т.31, Вып.7. – С. 2413-2415.

82. Рахматова, Д. Б., Каюмов Л. Х. Перспективы применения облепихи в кардиологической практике / Д. Б. Рахматова, Л. Х. Каюмов // Биология и интегративная медицина. – 2018. – №. 5. – С. 153-167.

83. Рогачев, В. А. Стратегия производства кормовых добавок на основе отходов растительного сырья Республики Алтай / В. А. Рогачев, В. Г. Шелепов, Ю. В. Итэсь // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий : Материалы VII-й Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Горно-Алтайского государственного университета, Горно-Алтайск, 06–08 июня 2019 года. – Горно-Алтайск: Горно-Алтайский государственный университет. – 2019. – С. 447-451.

84. Рожнов, Е. Д. Антиоксидантный потенциал плодов облепихи крушиновидной и продуктов ее переработки/ Е. Д. Рожнов // Индустрия питания (Food Industry). – 2021. – Т. 6. – №. 1. – С. 23-30.

85. Романков, П. Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) : Учебное пособие для вузов / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк. – Санкт-Петербург: Химиздат, 2017. – 544 с.

86. Рудобашта, С. П. Массопроводность при сушке строительных материалов // Умные композиты в строительстве. – 2021. – Т. 2, №. 2. – С. 16-25.

87. Сафин, Р. Г. Комплексная переработка облепихи / Р. Г. Сафин, Е. Н. Соловьева. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью «Редакционно-издательский центр «Школа», 2023. – 87 с.

88. Сафин, Р.Г. Обзор исследований по производству облепихового сока / Р. Г. Сафин, Е. Н. Ахметханова, А. В. Сафина [и др.] // Системы. Методы. Технологии. – 2022. – № 3. – С. 116-122.

89. Сафин, Р.Г. Обзор существующих способов получения ценных компонентов из облепихи крушиновидной и разработка комплексной схемы ее переработки / Р. Г. Сафин, Е. Н. Ахметханова, Г. Р. Арсланова [и др.] // Деревообрабатывающая промышленность. – 2022. – № 2. – С. 70-82.

90. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ 2021680416 Рос. Федерация. Расчет величины давления насыщенных паров посредством решения корреляционного уравнения Антуана / Рузманов М. Д., Саркисов С. В., Потапенко В. В. [и др.]; заявитель и правообладатель Военная академия МТО им. генерала армии А. В. Хрулева Минобороны России. – № 2021669626: заявл. 30.11.2021: опубл. 09.12.2021.

91. Скороспелова, Е. В. Совершенствование технологии приготовления концентрированных соков из плодов и ягод алтайских сортов / Е. В. Скороспелова, О. Ю. Михайлова, Н. К. Шелковская // Ползуновский вестник. – 2021. – № 2. – С. 7-13.

92. Скуридин, Г. М. Новое в технологии переработки плодов облепихи / Г. М. Скуридин // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы VII Всероссийской конференции с международным участием, Барнаул, 24-28 апреля 2017 года. – Барнаул: Алтайский государственный университет, 2017. – С. 160-162.

93. Скуридин, Г. М. Поглощение химических элементов корой сибирской облепихи (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *mongolica* Rousi) / Г. М. Скуридин, О. В. Чанкина, А. А. Легкодымов, Н.В. Багмнская, К. П. Куценогий // Химия в интересах устойчивого развития. – 2015. – Т. 23,

№. 1. – С. 71-76.

94. Скуридин, Г. М. Элементный состав и интенсивность накопления химических элементов в листьях сибирской облепихи (*Hippophae Rhamnoides L.*) / Г. М. Скуридина, О. В. Чанкина, А. А. Легкодымов, Н. В. Багинская, К. П. Куценогий // Химия в интересах устойчивого развития. – 2014. – Т. 22, №. 3. – С. 301-305.

95. Стукова, К. Д. Технология производства концентрированных плодовоовощных соков / К. Д. Стукова // Молодежь и наука. – 2020. – № 2. – С. 52.

96. Тепляков, Ю. А. Расчет кинетики процессов экстрагирования из твердых материалов с различной структурой/ С. П. Рудобашта, В. М. Нечаев, А. М. Климов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 15. – №. 3. – С. 553-560.

97. Фадеева, Н. А. Облепиха в составе специальных севооборотов / Н. А. Фадеева, Н. А. Кириллов, С. Н. Григорьев // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1(28). – С. 47-54.

98. Хазагаева, С. Н. Бифидогенные свойства облепихового масла / С. Н. Хазагаева, Н. А. Замбалова, Л. М. Качанина, И. С. Хамагаева // Дальневосточный аграрный вестник. – 2023. – Т. 17, № 2. – С. 131-137.

99. Хасенова, А. Б. Облепиха крушиновидная (*Hippophae Rhamnoides L.*) – источник биологически активных веществ / А. Б. Хасенова, А. Н. Аралбаева, Р. С. Утегалиева, А. Т. Маматаева, М. К. Мурзахметова // Вестник Алматинского технологического университета. – 2020. – №1. – С. 82-88.

100. Цыбикова, Д. Ц. Биологически активные вещества облепихи крушиновидной и перспективы их использования в медицине и пищевых отраслях / Д. Ц. Цыбикова; Д. Ц. Цыбикова; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Вост.-Сибирский гос. технологический ун-т» (ГОУ ВПО ВСГТУ). – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2007. – 277 с.

101. Шнайндан, Л. О. Производство витаминов / Л. О. Шнайндан. – 2-е

изд., перераб. и доп. – Москва: Пищевая промышленность, 1973. – 322 с.

102. Юнусова, Ф. М. Эколого-географическая изменчивость плодов облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) по содержанию биологически активных веществ вдоль высотного градиента (на примере дагестанских популяций): дис. – Дагестанский государственный университет, 2012.

103. Ahmad Adnan, Mushtaq Muhammad, Islam Tanveer ul. Chapter 12 – Fruit Juice Concentrates // Fruit Juices / ed. Rajauria G., Tiwari B. K. – Academic Press, 2018. – P. 217-240.

104. Ambaye R.Y., Indap M.A. Chemical examination of *Hippophae Salicifolia* D. Don // Indian Journal of Pharmacy. – 1970. – Vol. 32, No. 5. – P. 130-131.

105. Bal L. M. et al. Sea buckthorn berries: A potential source of valuable nutrients for nutraceuticals and cosmoceuticals // Food research international. – 2011. – Vol. 44, No. 7. – P. 1718-1727.

106. Beveridge, T. Processing effects on the composition of sea buckthorn juice from *Hippophae rhamnoides* L. Cv. Indian Summer. / T. Beveridge, J. E. Harrison, J. Drover // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2002. – Vol. 50, No. 1. – P. 113-116.

107. Cenkowski, S. Quality of extracted sea buckthorn seed and pulp oil. / S. Cenkowski, R. Yakimishen, R. Przybylski, W. E. Muir // Canadian biosystems engineering. – 2006. – Vol. 48. – No. 4. – P. 10-16.

108. Corbu, A. R. Edible vegetable oils enriched with carotenoids extracted from by-products of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis*): The investigation of some characteristic properties, oxidative stability and the effect on thermal behaviour. / A. R. Corbu, A. Rotaru, V. Nour // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2020. – Vol. – 142, No. 2. – P. 735-747.

109. Eccleston, C. Effects of an antioxidant-rich juice (sea buckthorn) on risk factors for coronary heart disease in humans. / C. Eccleston, Y. Baoru, R. Tahvonen, H. Kallio, G. H. Rimbach, A. M. Minihane // The Journal of nutritional

biochemistry. – 2002. – Vol. 13, No. 6. – P. 346-354.

110. Hussain A. et al. Studies on the preparation of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) // J. Chem. Soc. Pak. – 2010. – Vol. 32, No 4. – P. 519.

111. Jaśniewska, A. Wide spectrum of active compounds in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) for disease prevention and food production. / A. Jaśniewska, A. Diowksza // Antioxidants. – 2021. – Vol. 10, No. 8. – P. 17-23.

112. Kasparaviciene, G. Influence of sea buckthorn oil production technology on its antioxidant activity. / G. Kasparaviciene, V. Briedis, L. Ivanauskas. // Influence of sea buckthorn oil (Medicina (Kaunas, Lithuania)). – 2004. – Vol. 40, No. 8. – P. 753-757.

113. Kim S. et al. Improvement in natural antioxidant recovery from sea buckthorn berries using predictive model-based optimization // Agriculture. – 2024. – Vol. 14, No. 7. P. – 12-20.

114. Mei, D. Research status and development prospects of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) resources in China. / D. Mei, X. Ma, F. Fu // Forests. – Vol. 14, No. 12. – P. 17-22.

115. Morgenstern, A. Changes in content of major phenolic compounds during leaf development of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). / A. Morgenstern, A. Ekholm, P. Scheewe, K. Rumpunen // Agricultural and Food Science. – 2014. – Vol. 23, No. 3. – P. 207-219.

116. Moskalets, T. Z. Sea buckthorn: New promising varieties and using their berries for the manufacture of functional products. / T. Z. Moskalets, A. H. Vovkohon, O. B. Ovezmyradova, V. M. Pelekhatyi // Ukrainian Journal of Ecolog. – 2021. – Vol. 11, No. 2. – P. 137-143.

117. Olas, B. Sea buckthorn as a source of important bioactive compounds in cardiovascular diseases. / B. Olas // Food and Chemical Toxicology. – 2016. – Vol. 97. – P. 199-204.

118. Pop, R. M. Carotenoid composition of berries and leaves from six Romanian sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) varieties. / R. M. Pop,

Y. Weesepeel, C. Socaciu, A. Pintea, J. P. Vincken, H. Gruppen // Food chemistry. – 2010. – Vol. 147. – P. 1-9.

119. Schubertova S. Exploitation of sea buckthorn fruit for novel fermented foods production: a review / S. Schubertova, Z. Krepsova, L. Janotkova, F. Kreps // Processes. – 2021. – Vol. 9, No. 5. – P. 14-18.

120. Skalski, B. Phenolic fraction and nonpolar fraction from sea buckthorn leaves and twigs: Chemical profile and biological activity. / B. Skalski, B. Kontek, B. Olas, J. Żuchowski, A. Stochmal // Future Medicinal Chemistry. – 2018. – Vol. 10, No. 20. – P. 2381-2394.

121. Tkacz, K. Phytoprostanes, phytofurans, tocopherols, tocotrienols, carotenoids and free amino acids and biological potential of sea buckthorn juices. / K. Tkacz, Á. Gil-Izquierdo, S. Medina, I. P. Turkiewicz, R. Domínguez-Perles, P. Nowicka, A. Wojdyo // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2022. – Vol. 102, No. 1. – P. 185-197.

122. Tsimmerman Y. S. Peptic ulcer disease: a critical analysis of the current state of the problem / Y. S. Tsimmerman // Herald of Pancreatic Club. – 2019. – Vol. 42, No. 1. – P. 53-62.

123. Upadhyay, N. K., Kumar, M. Y., & Gupta, A. Antioxidant, cytoprotective and antibacterial effects of Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) leaves. / N. K. Upadhyay, M. Y. Kumar, A. Gupta // Food and Chemical Toxicology. – 2010. – Vol. 48, No. 12. – P. 3443-3448.

124. Vilas-Franquesa A. Potential of sea buckthorn-based ingredients for the food and feed industry – a review / A. Vilas-Franquesa, J. Saldo, Juan B. // Food Production, Processing and Nutrition. – 2020. – Vol. 2, No. 1. – P. 17-21.

125. Vincze, I. Concentration of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) juice with membrane separation. / I. Vincze, É. Bányai-Stefanovits, G. Vatai // Separation and Purification Technology. – 2007. – Vol. 57, No. 3. – P. 455-460.

126. Vincze, I. Using nanofiltration and reverse osmosis for the concentration of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) juice. / I. Vincze, É. Stefanovits-

Bányai, G. Vatai // *Desalination*. – 2006. – Vol. 200, No. 3. – P. 528-530.

127. Wang, K. Bioactive compounds, health benefits and functional food products of sea buckthorn: A review. / K. Wang, Z. Xu, X. Liao // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2022. – No. 62, No. 24. – P. 6761-6782.

128. Wang, Z. Phytochemistry, health benefits, and food applications of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.): A comprehensive review / Z. Wang, F. Zhao, P. Wei, X. Chai, G. Hou, Q. Meng // *Frontiers in Nutrition*. – 2022. – Vol. 9, № 3 – P. 105-112.

129. Xu, L. Preparation process, composition and activity evaluation of Ginseng-Sea buckthorn functional drink. / L. Xu, X. Li, L. Lin, X. Mao, J. Lee, J. Ye, Y. Zhao // *Journal of Functional Foods*. – 2023. – Vol. 110. – P. 108-116.

130. Yang, B. Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) products: Composition and applications / B. Yang, R. Kallio // *Trends in Food Science & Technology*. – 2002. – Vol. 13, No. 5. – P. 160-167.

131. Zhang, X., Li, M., Zhu, L., Geng, Z., Liu, X., Cheng, Z., Yang, X. Sea buckthorn pretreatment, drying, and processing of high-quality products: Current status and trends. / X. Zhang, M. Li, L. Zhu, Z. Geng, X. Liu, Z. Cheng, X. Yang // *Foods*. – Vol. 12, No. 23. – P. 4255.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

### Статистическая обработка результатов

Количественная оценка расхождения между расчетными и экспериментальными данными.

Для количественной оценки расхождений между расчетными и экспериментальными значениями по известным методикам рассчитаны:

- среднее арифметическое отклонение:

$$\delta' = \frac{\sum_{i=1}^n |\bar{y}_{эi} - \bar{y}_{рi}|}{n};$$

- среднее арифметическое относительное отклонение:

$$\delta'_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\bar{y}_{эi} - \bar{y}_{рi}}{y_{эi \max} - y_{эi \min}} \right| 10^2;$$

- среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_{эi} - \bar{y}_{рi})^2}{n}};$$

среднее квадратичное отклонение среднего арифметического:

$$\sigma'_0 = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_{эi} - \bar{y}_{рi})^2}}{n(n-1)};$$

где  $\bar{y}_{эi}$ ,  $\bar{y}_{рi}$  – среднее значение выходной величины полученные соответственно экспериментальным и расчетным путем; n – количество проведенных опытов.

Результаты расчетов сведены в таблицах 1-5.

Таблица 1 – Результаты статистической обработки кинетики влагопоглощения побегов облепихи при различных давлениях (0,8 МПа; 0,9 МПа; 1,0 МПа; 1,1 МПа).

№	t, мин	$y_{эi}$	$y_{рi}$	$ \overline{y_{эi}} - \overline{y_{рi}} $	$\delta'$	$\left  \frac{\overline{y_{эi}} - \overline{y_{рi}}}{y_{эi \max} - y_{эi \min}} \right $	$\delta'_0$	$(\overline{y_{эi}} - \overline{y_{рi}})^2$	$\sigma'$	$\sigma'_0$
1	0	20,00	20,00	0,00	1,20	0,00	1,53	0,00	0,81	0,16
2	0,5	44,00	46,33	2,33		2,97		5,44		
3	1	68,00	69,33	1,33		1,69		1,78		
4	2	91,33	92,00	0,67		0,85		0,44		
5	3	98,67	97,00	1,67		2,12		2,78		

Таблица 2 – Результаты статистической обработки кинетики температуры побегов облепихи при нагреве насыщенным паром при различных давлениях (0,8 МПа; 0,9 МПа; 1,0 МПа; 1,1 МПа).

№	t, мин	$y_{эi}$	$y_{рi}$	$ \overline{y_{эi}} - \overline{y_{рi}} $	$\delta'$	$\left  \frac{\overline{y_{эi}} - \overline{y_{рi}}}{y_{эi \max} - y_{эi \min}} \right $	$\delta'_0$	$(\overline{y_{эi}} - \overline{y_{рi}})^2$	$\sigma'$	$\sigma'_0$
1	0	0,00	0,00	0,00	0,73	0,00	0,41	0,00	0,49	0,10
2	0,5	44,00	46,33	2,33		2,97		5,44		
3	1	68,00	69,33	1,33		1,69		1,78		
4	2	91,33	92,00	0,67		0,85		0,44		
5	3	98,67	97,00	1,67		2,12		2,78		

Таблица 3 – Результаты статистической обработки исследования коэффициента теплопередачи.

№	t, МИН	$y_{эi}$	$y_{рi}$	$ \overline{y_{эi}} - \overline{y_{рi}} $	$\delta'$	$\frac{ \overline{y_{эi}} - \overline{y_{рi}} }{ y_{эi \max} - y_{эi \min} }$	$\delta'_0$	$(\overline{y_{эi}} - \overline{y_{рi}})^2$	$\sigma'$	$\sigma'_0$
1	10	527	524	3	2,3333333	6,818181818	5,3030303	9	2,0615528	0,6871842
2	13	495	493	2	33	4,545454545	03	4	13	71
3	17	483	485	2		4,545454545		4		

Таблица 4 – Результаты статистической обработки кинетики концентрации облепихового масла в отпрессованных пластинах семян.

№	t, МИН	$y_{эi}$	$y_{рi}$	$ \overline{y_{эi}} - \overline{y_{рi}} $	$\delta'$	$\frac{ \overline{y_{эi}} - \overline{y_{рi}} }{ y_{эi \max} - y_{эi \min} }$	$\delta'_0$	$(\overline{y_{эi}} - \overline{y_{рi}})^2$	$\sigma'$	$\sigma'_0$
1	0	5,12	5,12	0	0,0812	0	1,58691406	0	0,04519797	0,00564974
2	10	3,1	3	0,1	5	1,953125	3	0,01	7	7
3	20	3,8	4	0,2		3,90625		0,04		
4	30	1,55	1,75	0,2		3,90625		0,04		
5	40	0,51	0,6	0,09		1,7578125		0,0081		
6	50	0,22	0,2	0,02		0,390625		0,0004		
7	60	0,1	0,14	0,04		0,78125		0,0016		
8	70	0	0	0		0		0		

Таблица 5 – Результаты статистической обработки кинетики концентрации облепихового масла в отпрессованных пластинах мякоти.

№	t, МИН	$y_{эi}$	$y_{рi}$	$ \overline{y_{эi}} - \overline{y_{рi}} $	$\delta'$	$\left  \frac{\overline{y_{эi}} - \overline{y_{рi}}}{y_{эi \max} - y_{эi \min}} \right $	$\delta'_0$	$(\overline{y_{эi}} - \overline{y_{рi}})^2$	$\sigma'$	$\sigma'_0$
1	0	24,7	24,7	0	1,42	0	5,748988	0	1,077219	0,269305
2	10	9	14	5		0,202429		25		
3	20	3	5	2		0,080972		4		
4	30	1,8	1,7	0,1		0,004049		0,01		
5	40	0	0	0		0		0		



## Патенты и дипломы

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

**№ 2797550****Способ отделения семян ягод от мякоти**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский национальный исследовательский технологический университет" (ФГБОУ ВО "КНИТУ") (RU)*

Авторы: *Сафин Рушан Гареевич (RU), Ахметханова Елена Ниязовна (RU), Родионов Алексей Сергеевич (RU), Зиатдинова Диляра Фаритовна (RU), Сафина Альбина Валерьевна (RU), Хайруллин Ильдар Фаритович (RU)*

Заявка № **2022112081**Приоритет изобретения **05 мая 2022 г.**

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **07 июня 2023 г.**

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает **05 мая 2042 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат 429b6a0fe3853164baf96f83b73b4aa7  
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**  
Действителен с 10.05.2023 по 02.08.2024

*Ю.С. Зубов*

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2794158

## Способ получения облепихового сока

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский национальный исследовательский технологический университет" (ФГБОУ ВО "КНИТУ") (RU)*

Авторы: *Сафин Рушан Гареевич (RU), Ахметханова Елена Ниязовна (RU), Арсланова Гульшат Ринатовна (RU), Сафина Альбина Валерьевна (RU), Тимербаева Альбина Леонидовна (RU), Назипова Лейсан Рамильевна (RU)*

Заявка № 2022120358

Приоритет изобретения 26 июля 2022 г.

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации 12 апреля 2023 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 26 июля 2042 г.

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат 68b80077e14e4010a94e6bd24145d5c7  
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**  
Действителен с 2.03.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2792374

СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ  
АКТИВНОГО КОМПЛЕКСА, СОДЕРЖАЩЕГО  
СЕРОТОНИН

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский национальный исследовательский технологический университет" (ФГБОУ ВО "КНИТУ") (RU)*

Авторы: *Сафин Рушан Гареевич (RU), Ахметханова Елена Ниязовна (RU), Зиятдинова Диляра Фарилловна (RU), Сафина Альбина Валерьевна (RU), Назипова Лейсан Рамилевна (RU)*

Заявка № **2023102215**

Приоритет изобретения **01 февраля 2023 г.**

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **21 марта 2023 г.**

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает **01 февраля 2043 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

Документ подписан электронной подписью  
Сертификат 68b80077e14e4010a94e6bd24145d5c7  
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**  
Действителен с 2.03.2022 по 26.05.2023

*Ю.С. Зубов*



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2838770

## Способ получения масла и сока из ягод облепихи

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский национальный исследовательский технологический университет" (ФГБОУ ВО "КНИТУ") (RU)*

Авторы: *Сафин Рушан Гареевич (RU), Соловьева Елена Ниязовна (RU), Назипова Лейсан Рамилевна (RU), Зиатдинова Диляра Фарировна (RU)*

Заявка № 2024119660

Приоритет изобретения 12 июля 2024 г.

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации 22 апреля 2025 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 12 июля 2044 г.

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

документ подписан электронной подписью  
Сертификат 0692e7c106300bf54f2401670bcca2026  
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**  
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

*Ю.С. Зубов*



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2813352

## Способ получения масла и сока ягод облепихи

Патентообладатель: **ООО "ЭКОЛАЙН" (RU)**

Авторы: **Сафин Рушан Гареевич (RU), Ахметханова Елена Ниязовна (RU), Ахметханова Елена Михайловна (RU), Валеев Кирилл Валерьевич (RU), Сафина Альбина Валерьевна (RU), Хайруллин Ильдар Фаритович (RU)**

Заявка № **2022126887**Приоритет изобретения **17 октября 2022 г.**Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретенийРоссийской Федерации **12 февраля 2024 г.**Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает **17 октября 2042 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

Документ подписан электронной подписью  
Сертификат 429b6a0fe3853164ba96f83b73b4aa7  
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**  
Действителен с 10.05.2023 по 02.08.2024

*Ю.С. Зубов*

# ДИПЛОМ

победителя конкурса «Студенческий стартап»

Соловьева Елена

Ниязовна

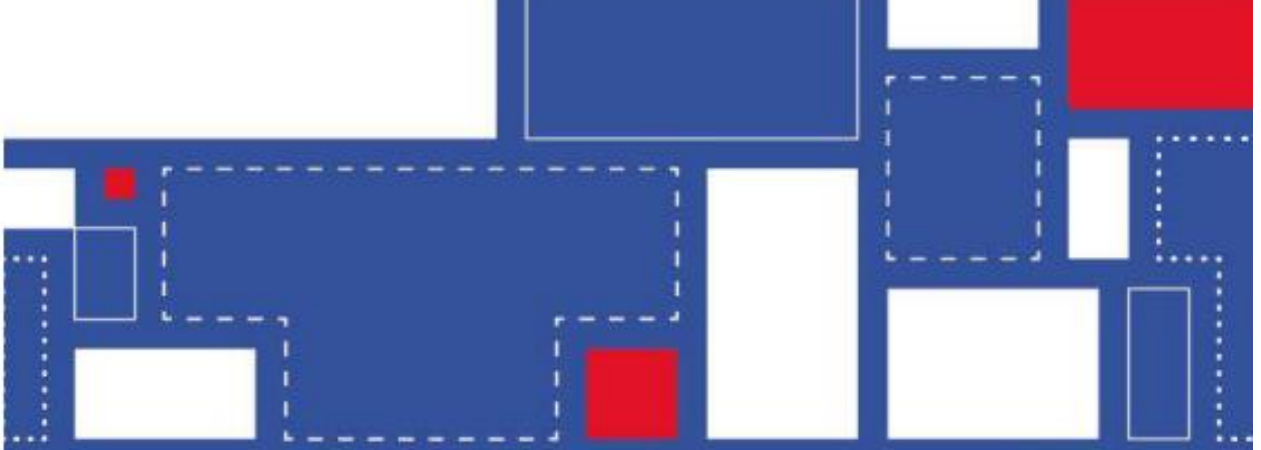
Договор № 568ГССС15-У/78854



Генеральный директор С. Г. Поляков



2022



# ДИПЛОМ ПОБЕДИТЕЛЯ КОНКУРСА «ТЕХНОСТАРТ» НАГРАЖДАЕТСЯ

Аспирант кафедры ПДМ

**Соловьева Елена Ниязовна**

Проект: «Разработка технологической линии производства биологически активного комплекса, содержащего серотонин»

Ректор КНИТУ



2023

Казанский национальный исследовательский технологический университет





МИНИСТЕРСТВО  
ПО ДЕЛАМ  
МОЛОДЕЖИ РТ

Движение молодых  
ученых и специалистов  
Республики Татарстан

БЛАГОТВОРИТЕЛЬНЫЙ ФОНД  
**TATNEFT**



Ежегодный республиканский конкурс  
**Лучший молодой ученый  
Республики Татарстан - 2024**

**ДИПЛОМ**  
за 3 место  
награждается

*Соловьева Елена Ниязовна*

Казанский национальный исследовательский технологический университет

В НОМИНАЦИИ

*«Лучший аспирант в области технических наук»*

Министр по делам молодежи  
Республики Татарстан

Председатель Исполкома  
Движения молодых ученых  
и специалистов Республики Татарстан

Р.Н. Садыков

Ю.П. Кареева



*Казань*  
2025