А.УСМОНОВ, Ш.РАСУЛОВ,
М.АДИЗОВА



“ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЛАГОТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ МЯТКИ СЕМЯН ХЛОПЧАТНИКА”



Бухара-2021 г

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А. УСМОНОВ, Ш. РАСУЛОВ, М. АДИЗОВА

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЛАГОТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ МЯТКИ СЕМЯН ХЛОПЧАТНИКА

МОНОГРАФИЯ

БУХАРА 2021

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А. УСМОНОВ, Ш. РАСУЛОВ, М. АДИЗОВА

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЛАГОТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ МЯТКИ СЕМЯН ХЛОПЧАТНИКА

МОНОГРАФИЯ

БУХАРА 2021

А.У. Усмонов, Ш.Х.Расулов, М.Р.Адизова. Интенсификация процесса влаготепловой обработки мятки семян хлопчатника[Текст]: Монография А.У. Усмонов, Ш.Х.Расулов, М.Р.Адизова – Бухара: 2021.-107 с.

УДК 665.655.043

ББК

Утверждено к печати Ученым советом Бухарского инженерно-технологического института (Протокол № __ от_____ 2021 г.)

Рецензенты:

М.Р.Амонов- доктор технических наук, профессор кафедры «Химии и неорганической химии» Бухарского государственного университета

Х.Ф.Джураев -доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические машины и аппараты пищевой и химической промышленности»

В монографии приведены результаты научно-теоретических исследований интенсификация процесса влаготепловой обработки мятки семян хлопчатника.

Приведены результате изучения теплофизические и терморадиационные характеристик мятки семян хлопчатника, разработана экспериментальная ИК-установка для исследования процесса влаготепловой обработки мятки семян хлопчатника в электромагнитном поле, определены факторы, влияющие на процесс ИК-жарения мятки семян хлопчатника. Произведен расчет распределения лучистой энергии по элементарным слоям и составлена статическая математическая модель процесса ИК - жарения мятки семян хлопчатника. Определена достоверность теоретических предпосылок проведенными на экспериментальной лабораторной и полупромышленной ИК - установках в производственных условиях.

Монография предназначена для научных работников, студентов и опорных докторантов, обучающихся по техническим направлениям, занимающихся вопросами термообработки мятки семян хлопчатника и других сыпучих материалов растительного происхождения.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ		5
ГЛАВА 1	**ЛИТЕРАТУРНО - ОБЗОРНАЯ ЧАСТЬ. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ**	10
1.1.	Сравнительный анализ существующих способов извлечения растительного масла	11
1.2.	Технологические особенности получения растительного масла	13
1.3.	Анализ современного состояния жарения хлопковых семян	15
1.4.	Терморадиационный способ жарения маслосодержащих материалов	25
1.5.	Анализ аппаратурного оформления процесса жарения мятки семян хлопчатника	29
1.6.	Постановка цели и задач исследования	38
ГЛАВА 2	**ТЕПКОФИЗШГЕСКИЕ СВОЙСТВА МЯТКИ СЕМЯН ХЛОПЧАТНИКА**	41
2.1.	Термодинамические характеристики и теплоемкость мятки хлопковых семян	41
2.2.	Теплопроводность и температуропроводность мятки хлопковых семян	49
2.3.	Влагопроводность и терморадиационные характеристики мятки хлопковых семян	51
2.4.	Поля излучения температуры и влагосодержания при ИК-нагреве мятки семян хлопчатника	55
ГЛАВА 3	**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**	61
3.1.	Экспериментальная установка для исследования термообработки мятки семян хлопчатника	61
3.2.	Методика проведения экспериментов для термообработки мятки семян хлопчатника	63

3.3. Исследование процесса термообработки мятки семян хлопчатника на экспериментальной ИК- установке 65
3.4. Экспериментальное исследование влияния ИК-жарения мятки семян хлопчатника на продолжительность экстракции 67
3.5. Исследование влияния ИК-жарения мятки семян хлопчатника на качественные показатели масла и шрота 72
3.6. Планирование экспериментов 76
3.7. Обработка результатов эксперимента и построение статистической математической модели процесса ИК-жарения 78
3.8. Оптимизация процесса термообработки мятки семян хлопчатника 80
ГЛАВА 4 МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА АППАРАТА ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ МЯТКИ СЕМЯН ХЛОПЧАТНИКА 87
4.1. Разработка и оформление полупромышленного аппарата 87
4.2. Тепловой баланс и расчет конструктивных размеров аппарата 92
4.3. Анализ результатов исследования ИК-термообработки мятки семян хлопчатника в полупромышленной ИК-установке 95
4.4. Расчет ожидаемой экономической эффективности 98
ВЫВОДЫ 104
ПРИЛОЖЕНИЕ 106
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 109

ВВЕДЕНИЕ

Президент Узбекистана Шавкат Мирзиёев своим Указом от 7 февраля 2017 года утвердил стратегию развития страны на 2017-2021 годы [1]. В соответствии с этим документом, стратегия включает в себя модернизацию государственного управления, судебно-правовой системы, либерализацию экономики, реформы в социальном секторе и принципы внешней политики.

Она также предусматривает внешнюю политику, направленную на укрепление независимости и суверенитета государства, создание вокруг Узбекистана пояса безопасности, стабильности и добрососедства, укрепление международного имиджа страны. Указом Главы государства образована национальная комиссия по реализации стратегии, а также комиссии по реализации отдельных приоритетных направлений. В соответствии с документом, стратегия действий будет реализована в пять этапов, каждый из которых предусматривает утверждение отдельной ежегодной государственной программы в соответствии с объявляемым наименованием года.

В основных направлениях экономического и социального развития Республики Узбекистан на 2017-2021 годы на период до 2030 года предусматривается обеспечить рост объема производства продуктов пищевой промышленности, повысить качество и питательную ценность пищевых продуктов, осуществить комплекс мероприятий по совершенствованию технологии производства, в дальнейшим расширить в 1,5 - 2,0 раза применение прогрессивных базовых технологий, обеспечить широкое внедрение в народном хозяйстве принципиально новых технологий - электронно-лучевых, плазменных, импульсных, биологических, радиационных, мембранных, химических и иных, позволяющих многократно повысить производительность труда, поднять эффективность использования ресурсов и снизить энерго и материалоемкость производства [1].

Основная задача современного этапа развития пищевой промышленности

- интенсификация технологических процессов при обеспечении высокого качества продукции, а также внедрение непрерывно действующих линий, оснащенных средствами автоматического контроля и регулирования процессов.

Процесс влаготепловой обработки маслосодержащих материалов является одной из основных стадий технологии производства растительных масел, в значительной мере влияющей на качество, себестоимость продукции, условия труда обслуживающего персонала и возможность создания непрерывно действующих механизированных линий. Поэтому изыскание и разработка способов интенсификации процесса влаготепловой обработки маслосодержащих материалов имеют актуальное значение, что может быть достигнуто внедрением новых способов обработки, а также обоснование оптимальных режимных параметров.

Один из наиболее распространенных способов влаготепловой обработка мятки семян хлопчатника - это процесс жарения, который осуществляется в чанных жаровнях глухим паром, способствующий эффективному извлечению масла.

В последние года в странах СНГ и за рубежом выполнены работы по применению коротковолновых инфракрасных излучателей для обжарки маслосодержащих материалов (бобы какао, арахис, миндаль и др.), показывающие перспективность данного способа подвода тепла для обработки пищевых продуктов и маслосодержащих материалов.

Результаты исследований [5, 10, 11, 12, 14 , 17 , 19, 20, 21, 22, 30, 34, 35, 36] дают представление о механизме внутреннего тепло- и массопереноса в процессе термической обработки (обжарка, сушка) пищевых продуктов инфракрасными лучами и позволяют рекомендовать оптимальные технологические режимы.

Вместе с тем процесс влаготепловой обработки маслосодержащих материалов, осуществляемый в чанных жаровнях, не обеспечивает равномерного распределения влаги и тепла в материале. Длительный процесс жарения приводит к пережарке маслосодержащего материала и другим

недостаткам, существенно влияющим на выход и качество масла.

Несомненно, что наиболее рациональный путь повышения эффективности установок для влаготепловой обработки - совершенствование, интенсификация и оптимизация процессов переработки маслосодержащих материалов, что имеет важное социальное значение.

Применение ИК-нагрева в процессе влаготепловой обработки мятки семян хлопчатника - один из основных путей интенсификации процесса.

Важное значение имеет проникновение инфракрасных лучей в толщу материалов и продуктов, а также специфическое воздействие ИК-излучения на их структуру. Наряду с этим возможность регулирования пространственного распределения лучистого потока

позволяет осуществлять нагрев только обрабатываемого объекта, сводя к минимуму потери энергии на нагрев окружающих поверхностей. Проникновение ИК-лучей в массу материала предотвращает нагрев (сжигание) его открытой поверхности. В свою очередь проникновение лучей в толщу обрабатываемого изделия существенно влияет на характер полей распределения температуры, влажности и давления, что, в свою очередь, влияет на темп разрушения клетчатки, а также на качество подучаемого масла. Значит, облучение маслосодержащих материалов инфракрасными лучами следует рассматривать не только как метод интенсивной термической обработки, но и как процесс глубокого воздействия на физико-химическую природу материала.

Разработка оптимальных режимов влаготепловой обработки мятки семян хлопчатника, позволяющих сократить продолжительность процесса, снизить энергозатраты и повысить качество готовых изделий, имеет важное значение при производстве растительных масел.

Все это свидетельствует об актуальности задачи интенсификации технологического процесса влаготепловой обработки мятки семян хлопчатника, основанного на применении прогрессивных методов энергоподвода с использованием последних достижений в области тепло- и массопереноса. Решению этому и посвящена настоящая работа.

В первой главе монографии выполнен анализ современного состояния проблемы жарения мятки хлопковых семян и анализ существующих способов извлечения растительного масла из масличных семян.

Приведены технологические особенности получения растительного масла и целесообразность применения коротковолновых инфракрасных лучей для жарения мятки семян хлопчатника. Проведенный критический обзор способов жарения маслосодержащих материалов и практической реализации способа ИК-жарения позволил обосновать основную цель и сформулировать задачи данного исследования.

Вторая глава монографии посвящена изучению теплофизических и терморадиационных свойств мятки семян хлопчатника.

В третьей главе монографии изучены теоретические основы тепло- и массопереноса при ИК-обработке мятки семян хлопчатника.

Исследование полей распределения температуры влагосодержания дало возможность определению отражательной, пропускательной и поглощательной способности мятки семян хлопчатника при ИК-нагреве.

Четвертая глава монографии посвящена исследованию процесса термообработки мятки семян хлопчатника экспериментальным путем. Исследование влияния мощности теплового потока, температуры, длины волны излучения, толщины слоя обрабатываемого материала и влажности его на выход и качество черного масла. Описан и принцип действия экспериментальной ИК-установки, приведена методика проведения экспериментов и планирования эксперимента.

На основе проведенных исследований путем оптимизации получены рациональные параметры ведения процесса жарения мятки хлопковых семян при нагреве в ЭМП инфракрасного диапазона.

Пятая глава монографии посвящена обоснованию основных конструктивных размеров полупромышленной ИК-установки для термообработки мятки семян хлопчатника, работающий по новому регламенту, обеспечивающий полное раскрытие маслосодержащих клеток мятки семян

хлопчатника; анализу результатов исследования ИК-термообработки мятки семян хлопчатника в полупромышленной ИК-установке. Рассматриваются также вопросы экономической эффективности от внедрения в масложировую промышленность новой жаровни с использованием инфракрасного энергоподвода.

ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРНО-ОБЗОРНАЯ ЧАСТЬ. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

Наиболее древним способом извлечения растительного масла из масличного сырья является способ прессования, когда для отжима масла использовали камни и каменные чаши. Затем стали применяться рычажные, винтовые, а в XVI в. клиновые прессы. В 1975 г. был изобретен гидравлический пресс, практическое применение которого началось в .1818-1824 гг., продолжалось до первой трети XX в. и сохранилось на отдельных заводах до настоящего времени [27].

Применявшиеся более 100 лет гидравлические прессы имели большое число недостатков :

- периодичность процесса прессования;
- необходимость использования тяжелого ручного труда при загрузке и разгрузке;
- наличие большого количества громоздких и дорогостоящих вспомогательных машин и аппаратов;
- невозможность достаточно полного отжима масла, в результате чего масличность прессовых жмыхов составляла не менее 7 - 8 %, что значительно повышало потери масла в производстве [8, 27, 38]. Существует кустарный способ добывания масла в установках джуваз, применявшихся народами Средней Азии, который до сих пор популярен в этом регионе.

Появление шнековых прессов в производстве растительных масел позволило сделать производственный процесс непрерывным. Съем масла на форпрессах при однократном прессовании составляет 60 - 85 % его содержания в исходной мезге, при двукратном - 70 - 93 %. В начале эти прессы устанавливали только на прессовых заводах, в дальнейшем с появлением и широким развитием экстракционного способа получения масла предварительный съем масла на шнековых прессах перед экстракцией стал

одним из основных процессов в технологии производства растительных масел [27, 39].

В результате дальнейшего изучения процесса экстракции масла возник способ прямой экстракции масличных культур, минуя процесс влаготепловой обработки.

Недостатком этого способа является то, что при прямой экстракции мятка семян хлопчатника экстрагируется с недостаточно раскрытыми клетками, в результате чего исключается максимальный вывод масла из мезги и, следовательно, повышается содержание масла в шроте.

В настоящее время разрабатываются новые прогрессивные способы извлечения масла из маслосодержащих материалов в поле электромагнитных волн в ИК-диапазоне, которые помогают устранять упомянутые недостатки [4, 40, 43].

1.1.Сравнительный анализ существующих способов извлечения растительного масла

Существует три способа извлечения растительного масла.

1.Прессовый способ извлечения масла из масличных культур, осуществляется следующим образом. Мятка из ядра семян определенной влажности и лучистости после измельчения на пятивальцовых станках направляют в пропарочно-увлажнительный шнек, где увлажняется до 8,5 - 9,5 % и нагревают до температуры 70 - 80 °С горячей водой или насыщенным паром. Увлажненную мятку подвергают тепловой обработке в чанной, далее в барабанной жаровнях с доведением влажности перед поступлением в пресс от 1,5 до 5 % (в зависимости от масличных культур) и температуры 105 - 120°С.

Продолжительность жарения при нормальном заполнении жаровен составляет не менее 40 - 45 мин. Далее подается на прессование для отжима масла. Процесс прессования осуществляется однократно или двукратно для окончательного (максимального) съема масла.

Недостаток этого способа - недостаточный съем масла при прессовании.

Масличность жмыха, который используется в производстве кормов для животных, составляет 5 - 18 % [8, 27].

2.Способ прямой экстракции применяется для извлечения масла из семян сои, а также отходов переработки плодов кориандра. Экстрагируют мятку, которой после доведения её влажности и температуры до необходимого значения путем кондиционирования придается на специальных вальцовых станках форма пластинок-лепестков (так называемый сырой лепесток) [27, 38],

В работе [9] приведены результаты исследований по получению масла из виноградной косточки. При этом маслосодержащие клетки разрушаются путем вальцевания мятки сначала на рифленных, затем парных плющильных вальцах. Материал, получивший лепестковую форму, подвергается экстрагированию.

Были проведены исследования [48] с целью установления длительности отлеживания увлажненного ядра на извлечение масла и госсипола. Из результатов этих исследований вытекает, что для извлечения масла и госсипола из хлопкового лепестка и получения высококачественного шрота, из которого можно получать пищевые продукты, необходимо после обезжиривания обрабатывать шрот водным ацетоном.

При способе прямой экстракции хлопковой мятки не извлекается достаточное количество масла из-за недостаточного раскрытия маслосодержащих клеток материала. В связи с этим способ прямой экстракции мятки хлопковых семян не нашел широкого применения. Например, на Гулистанском и Касанском маслоэкстракционных заводах дополнительно к проекту построены прессовые цехи.

3.Способ прессование-экстракция - наиболее широко распространен в производстве растительных масел и осуществляется следующим образом. Жмых, выходящий из пресса, охлаждается и, проходя через дробилку, поступает в экстрактор, где оставшееся тело в жохе извлекается путем растворения в органическом растворителе, полученный раствор-мисцелла дистиллируется. Масличность шрота доводится до 1 - 1,5 %.

Недостатком этого способа - ухудшение качества масла, так как процесс

дистилляции мисцеллы производится при температуре 120 - 140°С, т.е. способ энергоемок.

Несмотря на эти недостатки в этих способах добывания хлопкового масла предусматривается условие направленного введения влаготепловой обработки хлопковой мятки с выведением госсипола в масло, что в дальнейшем положительно отражается в ратинируемое ти масла, а также обеспечивает минимизацию содержания госсипола в шроте.

Любой технологический процесс, как и процесс жарения, характеризуется технологическими параметрами. Соблюдение оптимальных значений технологических параметров процесса влаготепловой обработки (температура, влажность, лужистость) обеспечивает нормальное протекание процесса, тем самым улучшает качество конечных продуктов.

1.2.Технологические особенности получения растительного масла

К основным диффузно-тепловым процесса производства хлопкового масла относятся кондиционирование семян и сырой мятки (сушка или увлажнение); экстрагирование масла из сырья различных структур (сырая мятка, крупка и гранулы жмыхов): кондиционирование шрота по содержанию растворителя, влаги температуре (отгонка растворителя из шрота с последующим увлажнением и охлаждением материала).

Повышения производительности оборудования, увеличения выхода масла и улучшения его качества молено достичь совершенствованием и интенсификацией этих процессов.

Качество масличных семян в основном зависит от поддержания влажности его при хранении. Поэтому предусматривается кондиционирование поступающих семян по влажности.

Кондиционирование масличных семян оказывает влияние не только на подготовительные, но и последующие основные технологические операции. Так, при переработке хлопковых семян доведения влажности до 10 -11% не только улучшает процессы обрушивания семян и разделения продуктов

переработки, снижает масличность шелухи, но и способствует прохождению процесса жарения.

Введение воды в семена при кондиционировании приводит к повышению влажности ядра, а следовательно, и влажности мятки, в результате чего происходит более равномерное распределение вода в ядре и в частицах мятки, чем при увлажнении сухой мятки перед жарением. Ввиду этого кондиционирование масличных семян способствует снижению масличности жмыха, связыванию госсипола в процессе жарения, а значит, получению легкорафинируемого масла, жмыхов и шротов с минимальным содержанием госсипола [38].

Один из сложных процессов получения масла из масличных культур - процесс жарения (тепловая обработка).

Согласно технологическим инструкциям, хлопковая мятка, поступающая в пропарочно-увлажнительный шнек, должна удовлетворять следующим требованиям :

Влажность W = 8,5 - 9,5 и 9,5 - 10,5 %, содержание шелухи не более 15 и 17 %, проход через одномиллиметровое сито не менее 60 % для семян I - III сортов и не менее 50 % IV сорта. Толщина лепестка должна быть в пределах 0,15 - 0,25 мм.

Мятку в пропарочно-увлажнительном шнеке увлажняется до W = 11 - 12,8 % и нагревается до температуры 70 - 80°С для I - III сортов, до W=12-13,5 % до температуры 60 - 80 °С для IV сорта [27, 37, 39].

В жаровне осуществляется тепловая обработка мятки с доведением влажности для поступления в пресс до 6 - 7 % для семян I - III сортов и 7 - 8 % да семян IV сорта при температуре 100 - 105 °С [37, 39].

Процесс влаготепловой обработки длится 60 - 70 мин» Для правильной организации процесса жарения надо изучать характер изменения теплофизических свойств материала в ходе процесса в зависимости от основных определяющих факторов.

До появления экстракционного способа имелись механические

воздействия на материал (измельчение, отжим) и действие влаги и тепла. При экстракционном способе значительно увеличился выход масла в основная при переработке кизкомасличных семян.

Извлечение масла в шнековых экстракторах НД - 1000, НД - 1250 продолжается 60-70 мин., в экстракторах многоступенчатого орошения колеблется в пределах 1,5 - 2,3 ч. [27].

Существующая схема извлечения масла из маслосодержащих материалов способом форпрессования экстракции имеет следующие недостатки:

- длительный процесс жарения мятки семян хлопчатника τ= 60 - 70 мин;
- высокий температурный режим *t* =105 - 110° С;
- неравномерное распределение влаги и тепла в мятке;
- недожарка и пережарка материала;
- аппараты жарения габаритны, металло- и энергоемки.

1.3.Анализ современного состояния жарения мятки хлопковых семян

При существующих способах получения растительного масла процесс жарения мятки семян, который осуществляется в чанных жаровнях, производится с целью достижения определенных физических изменений и перестройки структуры её частиц, способствующих эффективному извлечению масла. Сущность процесса жарения заключается в поэтапной тепловой обработке мятки в пяти- и шестичанных жаровнях глухим паром, где рабочая температура меняется от 70 до 110°С, а продолжительность обработки составляет 40-50 мин. Этим аппаратом жарения присущ ряд недостатков, например, не изучена структура движения мятки по аппарату, что порождает неравномерность распределения влаги и тепла. Недожарка, пережарка и другие недостатки, существенно влияющие на выход и качество масла, обусловлены неравномерностью обработки. Аппараты жарения металло- и энергоемки.

При влаготепловой обработке в мятке семян хлопчатника происходят

биохимические изменения. Суммарное воздействие влаги, тепла и кислорода воздуха при жарении способствует активизации ферментной системы мятки, что приводит к интенсивному протеканию нежелательных гидролитических, протеолитических и окислительных процессов в ней [27, 39].

Мятка, подвергающаяся жарению, имеет очень сложный ферментный состав, разный для семян различных масличных культур. Мятка содержит весь набор ферментов живого семени, поэтому в ней протекает сложный комплекс биохимических процессов, ход которых оказывает очень большое влияние на качество конечных, продуктов переработки масличного сырья.

Повышение влажности и температуры мятки семян хлопчатника допустимо предельных значений в начале процесса жарения приводит к повышению активности ферментной системы, а дальнейший нагрев - к затуханию активности ферментов. Эти свойства ферментной системы широко используют в промышленности для обеспечения выработки высококачественных масел. Однако из-за длительной продолжительности процесса жарения не всегда получается высококачественное масло.

Благоприятные условия для тепловой денатурации белковых веществ способствуют и инактивированию ферментов, так как известно, что последние являются веществами белкового характера.

Практически инактивация ферментной системы достигается путем интенсивного и кратковременного (30 - 40 с) нагревания мятки до 80 - 85°С с одновременным увлажнением её, который осуществляется в инактиваторах перед жарением [27]. Разные масличные культуры (подсолнечник, клещевина, хлопчатник и т.п.) имеют характерные для них группы ферментов, белковых, красящих и других веществ, по-разному проявляющие свои свойства при влаготепловой обработке мяток, поэтому для них определены различные оптимальные режимы инактивации и жарения, при которых возможно получение масла и жмыха или шрота наилучшего качества.

Неравномерность процесса увлажения мятки семян хлопчатника в инактиваторах - недостатком процесса, отрицательно влияющий на

последующий технологический процесс - процесс жарения. Устранение этого недостатка осуществляется в устройстве для кондиционирования маслосодержащих материалов, разработанной авторами работы [47].

Степень денатурации белков мятки семян хлопчатника и других семян зависит от режима жарения. В работах [8, 27] указывается, что с повышением исходной влажности мятки и температуры мезги степень денатурации белковых веществ мятки последовательно возрастает.

Отличается мятка семян хлопчатника от других тем, что в нем содержатся красящее вещество желтого цвета - госсипол. Содержание госсипола в ядре колеблется от 0,002 до 6,64 % массы ядра.

Под действием тепла, влаги, кислорода воздуха в процессе жарения мятки хлопковых семян происходят многочисленные превращения госспола.

Повышенная влажность и температура мятки семян хлопчатника, а также определенный режим времени теплового воздействия облегчает переход госсипола в масло.

Интенсивная влаготепловая обработка приводит к накапливанию в мезге госсипротеиновых соединений, снижению содержания лизина на 15 - 30 % по сравнению с мягким режимом, при котором госсипол переходит в масло [49].

Из сказанного выше можно сделать вывод, что процесс жарения представляет собой сложный комплекс физических и химических изменений в мятке и что необходимо проведение дальнейших исследований с целью интенсификации процесса и улучшения качества получаемой продукции.

Приготовление мезги (жарение) представляет собой операцию, заключающуюся в обработке мятки теплом и водой в течение определенного промежутка времени при перемешивании в специальных аппаратах - жаровнях.

Цель этой операции - вызвать определенные физико-химические изменения мятки и изменения структуры её частиц, которые способствуют наилучшему эффекту при извлечении масла. Кроме того, в ряде случаев при жаренье необходимо произвести дополнительные химические изменения, обеспечивающие получение продуктов наивысшего качества (например, при

переработке семян хлопчатника - связывание госсипола, семян сои - изменение некоторых белков и удаление с водяным паром неприятно пахнущих веществ).

В работе [27] описано влияние процесса измельчения на разрушение клеток маслосодержащего материала. В частности говорится , что главная задача измельчения ядра семян - максимально возможное разрушение клеточной структуры, а такие придание материалу определенной внешней структуры, оптимальной для последующих операций, способствующих более полному извлечению масла : жарения, прессования, экстракции.

Вопросами локализации заполненных липидов занимались многие исследователи. В 1963 г. К.Е. Леонтевский на основании электронно-микроскопических исследований сухих подсолнечных семян, также пришел к выводу, что масло в клетках находится в виде отдельных капель.

Приготовление мезги к прессованию (к съему масла) является основой получения растительных масел из масличных культур. Теоретические основы этого процесса созданы проф. Голдовским в 1931 - 1935 гг. Определил физико-химическую сущность процессов, протекающих в результате действия влаги и тепла при приготовлении мезги. Изучив воздействие воды в процессе приготовления мезги, проф. Голдовский установил и экспериментально доказал, что действие воды при приготовлении мезги - основной фактор процесса подготовки материала к производству растительных масел, от которого зависит полнота последующего отделения масла.

Достаточно полно изучено изменение связанности масла с гелевой частью и его общего состояния в мятке (А.М. Голдовский, 1939, К.Е. Леонтевский, В.Г. Щербаков, 1971). Под действием воды при увлажнении происходит набухание мятки, в результате - выжимание масла из элеоплазмы частиц [50].

Изучив агрегирование частиц, Нейман в 1934 г. установил, что при увлажнении мяток различных культур их частицы агрегируются с разной интенсивностью. Агрегированием частиц при увлажнении уменьшается удельная площадь поверхности мятки, что способствует уменьшению

связанности с ней масла.

На примере подсолнечной мятки Леонтевский показал, что при увеличении влажности мятки с 3,5 до 10,9 % удельная площадь поверхности подсолнечной мятки уменьшается с 6,25 до 1,5 $м^2/г$.

Кроме того, не рекомендуется в производстве создавать большие запасы мятки [8], так как при продолжительном вылеживании её наблюдается накопление свободных жирных кислот в масле. В работе подтверждается, что при вылеживании подсолнечной мятки в течение 24 ч. при температуре 15 - 18°С кислотное число масла холодного прессования, отжатого из мятки, повышается с 1,43 до 1,72, при температуре 35 - 40°С - с 1,70 до 4,35.

Тепловое воздействие на мятку - неотъемлемая часть процесса приготовления мезги и вызывает значительные физические и химические изменения в её масляной и гелевой частях, а также в их связанности друг с другом. Повышение температуры мятки приводит к снижению вязкости и поверхностного натяжения содержащегося в мятке масла [27]. Уменьшением удельной поверхности мезги ослабляется энергия связи масла о материалом. Так, по расчетам, энергия связи масла с МЕТКОЙ составляет приблизительно 0,064 $дж/м^2$, с мезгой - 0,053 $дж/м^2$. Общий эффект жаренья в снижении связанности масла с материалом обязан как снижению удельной поверхности материала, так и уменьшению собственно энергии связи и равен приблизительно 80 %.

С повышением температуры мезги до 130 - 140°С могут образоваться сопряженные двойные связи линолевой кислоты и ускорить окислительные процессы.

Для предохранения масла от интенсивных окислительных процессов рекомендуется не допускать повышения температуры нагрева выше 105°С, сокращать продолжительность контакта мезги и масла с кислородом, применять деаэрированный технологический пар [27].

Процесс жарения имеет две области применения.

1. Перед прессованием во всех технологических схемах, включающих

прессование в качестве однократного, предварительного и окончательного прессования. Цель жарения для прессования - создание таких свойств маслосодержащего материала, которые обеспечивают эффективное прессование с максимальным съемом масла, которое невозможно получить при прессовании необработанной мятки.

2. Перед экстракцией (экстракция лепестковой мезги). Цель жаренья для экстракции создание такой структуры мезги, при которой частицы хорошо отдают масло непосредственно при экстракции.

Различают два типа жаренья: с наличием и без специального увлажнения в начале или в течение его.

Первый тип жаренья основной, нормальный, второй - отклоняющийся от нормального.

Жаренье первого типа включает два этапа.

Первый этап - предусматривает увлажнение мятки путем прибавления вода и пропаривания или только пропаривания с доведением мятки до оптимальной для дальнейшей обработки влажности, называемой оптимальной начальной влажностью при жаренье.

Второй этап - высушивание увлажненной мятки с созданием оптимальной структуры с доведением её влажности и температуры до оптимальных для прессования величин, называемых оптимальной конечной влажностью при жаренье.

При жарении второго типа предусматривается только в высушивании и нагревании мятки без увлажнения в начале жаренья, так что влажность мятки не доводится до оптимальной (если её исходная влажность ниже оптимальной начальной влажности). Этот тип называется сухим жарением.

Говоря о типе жаренья мы должны понимать под приготовлением мезги или жарением весь процесс обработки материала водой и теплом перед его поступлением на прессование, а не только обработку в пределах собственно жаровни. Влажное жаренье - наиболее эффективно, чем сухое жаренье, при переработке хлопчатника и сои.

Необходимость увлажнения в начале обычного жаренья подсолнечной мятки для гидравлических прессов была подчеркнута А.И.Скипиным еще в 1930 г. Физико-химическая сущность и значение увлажнения в начале жаренья теоретически обоснованы Голдовским.

В 30-х годах ученые нашей страны и за рубежом занимались изучением изменением состояния клеток маслосодержащих материалов в процессе измельчения и жарения. Разработанные методики и приборы для определения количества вскрытых клеток были недостаточно правильными и точными, так как вскрытие клеток маслосодержащего материала в основном осуществляется при размоле на вальцах.

Следует помнить, что у различных масличных культур размеры маслосодержащих клеток различные. Например, у подсолнечника ширина семядоли 30 мкм, длина 49,5 мкм, у хлопчатника - соответственно 17,7 и 33,5 мкм [49]. Отсюда можно судить, что толщина мятки после вальцевания - до 1 мм, в ней содержится несколько слоев клеток. Значит, при измельчении маслосодержащего материала на вальцах количество вскрытых клеток минимальное, примерно 15 - 20 %, Основная часть маслосодержащих клеток разрушается в процессе влаготепловой обработки, т.е. в процессе жарения.

Американские авторы[54 , 55, 56] указывают, что при измельчении на вальцах происходит лишь очень небольшое разрушение клеток, основную работу в этом направлении производит жаровня. Тщательное вальцевание ядра необходимо для последующей обработки в жаровне.

В работах [8] описывается процесс жарения :

а) масло удерживается в мятке на огромной внешней и внутренней поверхности частиц поверхностным силовым молекулярным полем;

б) цель процесса жарения заключается, во-первых, в максимально полном освобождении масла от сил, связывающих его в мятке, во-вторых, в создании такой структуры мезги для прессования, при которой было бы обеспечено извлечение масла из остальных веществ мезги. Эта структура характеризуется достаточной пластичностью

и небольшой текучестью всей массы мезги и достаточно большой разницей в текучести гелевой и жидкой фаз и достаточной однородностью.

Исследован процесс жарения тонким слоем на непрерывно действующих сушилках револьверного типа, что не дало успеха. В частности, отмечается скатывание увлажненной мятки в нерассыпающиеся комки и приставание мятки при больших влажностях к стенкам [54].

На основе теоретических и практических исследований доказывается невозможность замены чанов сушильными агрегатами, так как в сушилках с тонкими слоями неизбежны подсыхание поверхностей, укрепление образовавшихся на первом этапе комьев. Действительно, шнековые жаровни, выпущенные немецкими фирмами, оказались непригодными.

Исследование тепловой денатурации белковых веществ хлопковой мятки при жарении показало, что вытеснение масла водой может происходить при низкой температуре. Это обусловлено тем, что связь масла с поверхностью, денатурированной белками ослаблено. Там образом доказывается, что тепловая денатурация белков не играет решающей роли в вытеснении масла из мезги водой [23].

Исследования, проведенные в области жаренья [54, 55, 56] подтверждают, что основная цель его - разрыв клеточной стенки, а роль увлажнения сводится линь к размягчению стенок клетки и тем самым к содействию этому разрыву.

По результатам исследований [54, 56] определена оптимальная влажность при жарении - не более 12 %. При её увеличении неизбежны потери сырых масел при рафинации. Избежать этого можно только увеличением продолжительности высушивания (жарения) сильно увлажненной мятки.

В работе [54] изучены увлажнение мятки и вопросы кондиционирования семян. Предлагается для равномерного распределения влаги прибавлять воду перед жарением порциями : при влажности семян 5 %- двумя порциями : в начале 2 %, через 15 мин после нагревания 3 % прибавление воды рекомендуется тогда, когда температура мятки достигнет 88 °С. Тогда можно

достичь равномерного распределения влаги.

В США считают наиболее эффективным быстрое повышение температуры в начале жарения примерно до 90 - 93°С и постепенное повышение её в остальных чанах (для второго чана до 102 - 103°С, для третьего - до 103 - 104°С, для четвертого - до I05°С).

В США и в нашей стране широко применяется пропаривание в первом чане жаровни, что приводит к быстрому повышению температуры, сокращению продожительности жаренья. Считается возможным, что чем больше продолжительность пребывания мятки в жаровне и, следовательно, чем дольше тепловое воздействие, тем более интенсивно происходит образование новых окрашенных соединений (в частности тем более энергично идет изменение госсипола), затрудняющее процесс рафинации. С сокращением продолжительности жаренья получают легко рафинируемое масло.

Вместе с тем действие пара в первом чане на маслосодержащай материал неравномерно, так как определенная доля частиц может пройти через чан быстрее, чем проходят частицы в среднем, значит, продолжительность жаренья отдельных частиц неодинаковая. Принято считать, что это одна из наиболее важных причин неравномерности прожаривания отдельных частиц. Поэтому необходимо обеспечить одинаковую продолжительность жаренья всех частиц.

Проведены исследования по переработке семян с повышенной влажностью. В работе [9] при работе с мяткой, имеющей влажность 14 – 17 %, применено пропаривание в трех верхних чанах жаровни сухим паром с давлением 80 фут (25,3 атм), причем на выходе из первого чана температура достигает 90º, из второго - 102º, из третьего - 104º, в четвертом - 109º С. Потери при рафинации были снижены приблизительно на 2 % по сравнению с режимом жаренья мятки с указанной влажностью без пропаривания, при этом соапсток получен более плотный, чем обычно.

Подготовленность маслосодержащего материала к прессованию определяется съемом масла при прессовании [8]. Это обеспечивается равномерным распределением влаги в материале в результате тщательного

измельчения сырья. При обработке ядра клещевины применять этот способ недопустимо, так как в высокомасличных материалах не получается равномерного распределения влаги. Учитывая это, ядро клещевины подвергается грубому плющению, которое позволяет достаточно равномерно увлажнять гелевую часть ядра. Это осуществляется на однопарных рифленых вальцах.

При переработке клещевинного ядра невозможно достичь удовлетворительных результатов для съема масла без предварительного увлажнения материала и его подогрева, так как ядро клещевины отличается высокой масличностью [8].

Для получения необходимого эффекта при извлечении масла прессовым способом, клещевину подвергают обычному жарению в чанных жаровнях с паровым обогревом. Предлагаются следующие режимные показатели: влажность ядра в первом чане жаровни 8 - 10 %, влажность мезги, поступающей в пресс, 5,5 - 6,5 %, температура мезги 110 - 115°С, масличность жмыха 15 - 18 % при фактической влажности.

Жарение мятки арбузных семян осуществляется в чанных жаровнях, при этом влажность её должна быть в пределах 12 - 13 %. Увлажнение производится с водой и насыщенным паром с доведением температуры увлажненной мятки до 70 - 80°С. Из-за недостаточного вскрытия клеточной структуры съем масла на форпрессах не превышает 30 - 35 % содержания его в мятке.

Исследована интенсификация процесса жарения острым перегретым водяным паром [18]. Опыты проводились в карамельной установке. Авторы пришли к выводу, что острый перегретый пар целесообразно применять на заключительном этапе жарения, чтобы быстрее довести влажность мезги до оптимальных значений. Ожидается сокращение энергетических затрат за счет снижения теплоты перегрева.

Однако массивность конструкции, длительность процесса жарения мятки семян хлопчатника и неравномерность прожаривания отдельных частиц

приводят к снижению качества масла.

Изучен процесс приготовления мезги к жарению и прессованию [8]. Для приготовления из мятки тонкого помола подсолнечного ядра мезги, обладающей необходимыми пластическими и упругими свойствами для нормальной работы форпрессов и экспеллеров, необходимо прибегать к интенсивной тепловой обработке мезги, в результате чего в конечном итоге сильно повышаются денатурация растворимых белков, остаточная масличность жмыха и содержание продуктов окисления в масле.

Анализ существующих способов влаготепловой обработки мятки семян хлопчатника выявил необходимость нового способа жарения, позволяющий интенсифицировать процесс, совершенствовать конструкцию аппаратов, в которых осуществляется процесс влаготепловой обработки, обеспечивающий равномерную обработку всех частиц маслосодержащего материала.

1.4. Терморадиационный способ жарения маслосодержащих материалов

Спектр электромагнитных волн, находящийся в интервале длин 0,76 - 750 мкм, называется инфракрасным. Принято делить этот спектр на длинноволновой (75 - 250 мкм), средневолновой (15 - 2,5 мкм) и коротковолновой (2,5 - 0,76 мкм). Для использования ИК- из лучения в процессе жарения маслосодержащих материалов предпочтение оказываем интервалу длин волн 0,76 - 5,0 мкм, так как оптические свойства различных материалов в этом интервале волн обладают максимальной поглощательной способности. Немаловажное значение имеет и то, что при более длинных волнах увеличивается поглощение инфракрасных лучей водяными парами [10].

Инфракрасное излучение широко используется в лакокрасочной, кожевенной, космической, медицинской, биологической, химической, строительной, пищевой и других отраслях народного хозяйства. Назначение ПК-лучей различно: обжарка, выпечка, сушка, дезинсекция, термотерапия, диагностика, космическая навигация и др. [15, 30].

Все более широкое применение находит термическая обработка маслосодержащих продуктов. Так, в Московском технологическом институте пищевой промышленности и во Всесоюзном заочном институте пищевой промышленности изучалось применение ИК-излучений для обжарки бобов какао и жиросодержащих ядер арахиса, миндаля [33], в Московском энергетическом институте изучались процессы обработки бобов какао и ореховых ядер в поле ТВЧ и инфракрасными лучами, в Московском институте народного хозяйства им. Г.В. Плеханова и в ВНИЭКИПродмаше проводились опыты по комбинированной термической обработке кунжута с использованием инфракрасного излучения.

Для обжарки бобов и ядер жиросодержащих материалов используют сушилку ВИС-2, но в них трудно достичь требуемого эффекта термической обработки, так как в большей мере осуществляется только сушка, а не обжарка.

По данным А.Т. Птушкина, в связи с малой теплопроводностью бобов какао, содержащих около 50 % жира, наиболее перспективен комбинированный терморадиационный и высокочастотный метоп их обработки. Исследования показали, что предварительный радиационный нагрев в большей степени интенсифицирует процесс удаления влаги при обжарке, и это повышает экономичность установки [34].

Влияние процесса обжарки на качественные показатели ядер миндаля и арахиса было исследовано в МТИПП на экспериментальной установке, состоящей из двух конвееров, оснащенных зеркальными лампами мощностью 250 Вт и спиралями из нихромовой проволоки. Изменения интенсивности облучения достигали регулированием напряжения питания (при использовании темных излучателей) и расстояния между лампами и продуктом.

По результатам исследований пришли к выводу, что при обжарке ядер миндаля ИК-лучами увеличивается кислотное число миндального масла, снижается количество перекисей, что свидетельствует о повышении стойкости жира.

Отмечается, что при облучении зеркальными лампами температура ядер

ниже, чем при обжарке темными излучателями вследствие того, что оболочка ядер лучше проницаема для длинноволнового излучения.

При комбинированном способе обжарки миндаля рекомендуется производить радиационный нагрев ядер до 90 - 100°С (при снижении влажности с 6 до 3 - 4 *%) и последующую* обжарку в поле ТВЧ в течение 2-2,5 мин.

При обжарке ИК-лучами содержание жира в ядрах арахиса уменьшается, при этом - чем выше температура нагрева ядер, тем больше потери сухого вещества. С ростом температуры ядер кислотное и перекисное число арахисового масла в процессе обжарки возрастает.

При комбинированном способе обжарки арахиса рекомендуется предварительный радиационный нагрев ядер до 90 - 100 °С и обжарка в поле ТВЧ в течение 3,5 кош. при напряженности поля в слое продукта около 8000 В/см.

Обжарка ядер кунжута инфракрасными лучами, а также комбинированным способом исследована на полупроизводственной установке кондитерской фабрики им. Марата. В процессе обжарки ядер необходимо перемешивать, чтобы избежать перегрева верхнего слоя. Оптимальная толщина слоя ядер с начальной влажностью 5 - 10 % составляет 10 - 15 мм, продолжительность облучения 10 - 15 мин. После ИК-облучения ядра приобретают равномерную, светло-желтую окраску, приятный вкус и своеобразный аромат.

Положительные технологические результаты получены и при комбинированной радиационно-конвективной обжарке ядер кунжута.

Большой интерес представляют исследования, проведенные в ВНИЭКИПродмаше на экспериментальной установке для сушки и обжарки сыпучих пищевых продуктов в кипящем слое с применением механических колебаний (рис. I.I) [32].

Для выявления эффективности воздействия ИК-лучей опыты по обжарке кунжута проводились тремя методами : обжарка ИК-лучами, нагретым

воздухом и комбинированная обжарка воздухом и ИК-лучами.

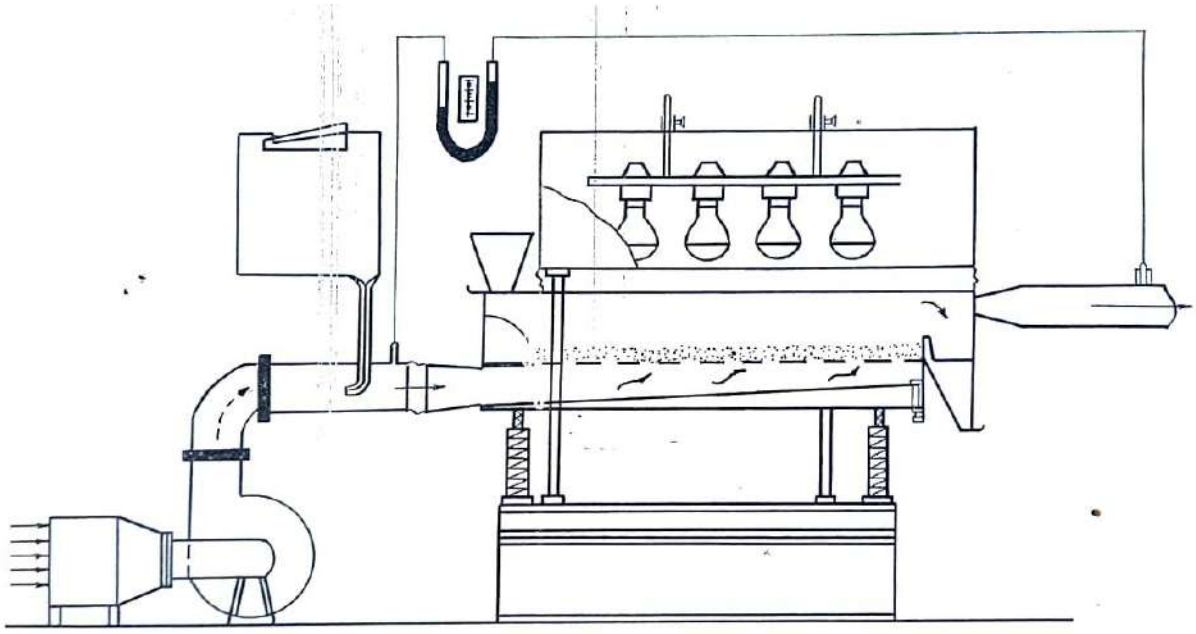


Рис.1.1. Экспериментальная установка для сушки и обжарка сыпучих пищевых продуктов в кипящем слое с применением механических колебаний и использованием инфракрасного излучения (ВНИЭКИПродмаш)

Опыты показали, что комбинированная радиационно-конвективная обжарка значительно интенсифицирует процесс по сравнению с чисто радиационным нагревом, а главное, способствует более равномерной обработке продукта.

Изучение существующих и предлагаемых способов позволило определить основные тенденции развития техники и технологии процесса термообработки маслосодержащих материалов, а именно мятки семян хлопчатника в СНГ и за рубежом. Интенсификация процесса термообработки (жарения) мятки семян хлопчатника может быть достигнута воздействием полей электромагнитных волн в ИК-диапазоне. Использование ИК-излучения автором позволило осуществить интенсивный процесс влаготепловой обработки мятки семян хлопчатника в потоке за более короткий срок и при высоких качественных показателях масла и жмыха [4, 40, 41, 43].

В связи с этим для эффективного извлечения хлопкового масла

необходимо продолжить исследования факторов, влияющих на процесс ИК-термообработки маслосодержащего материала: влажности W, толщины слоя δ, плотности теплового потока q.

1.5. Анализ аппаратурного оформления процесса жарения мятки семян масличных культур

Большое распространение получило в маслодобывающих предприятиях влаготепловую обработку мятки перед её прессованием. Этот процесс осуществляется в жаровнях, тепло подводится через паровые рубашки. Конструкции жаровен бывают чанные, шнековые и барабанные.

Чанные жаровни, выпускаемые машиностроительными заводами, одинаковы по устройству и принципу работы. Отличаются они только количеством чанов и производительностью. Выпускаются с количеством чанов от двух до семи. Чаны цилиндрической формы, расположены в виде колонн. Обогрев осуществляется паром, подаваемым в паровые рубашки днищ или обечайки. Через центр чанов проходит вертикальный вал, на котором в каждом чане закреплены двухлопастные мешалки. Для перепуска мезги из чана в чан в их днищах имеются отверстия квадратной формы, закрываемые автоматическими перепускными клапанами секторного типа или клапанами Линка. Подача готовой мезги в форпрессы осуществляется через два боковых отверстия на обечайке нижнего чана жаровни. Эти отверстия перекрываются шиберами, управляемыми вручную [27].

Существуют шестичанные жаровни ФП и Ж-6, выпускаемые фирмой СКЕТ (ГДР), шестичанные жаровни Ж-62А, Ж-68, Ж-230/6 с одним прессом ЕТП-20, предназначенные для предварительного и окончательного прессования; шестичанная жаровня Ж-230/6Г работает в комплекте с пресс-гранулятором Г-24.

Шестичанная жаровня ФП

Конструкция

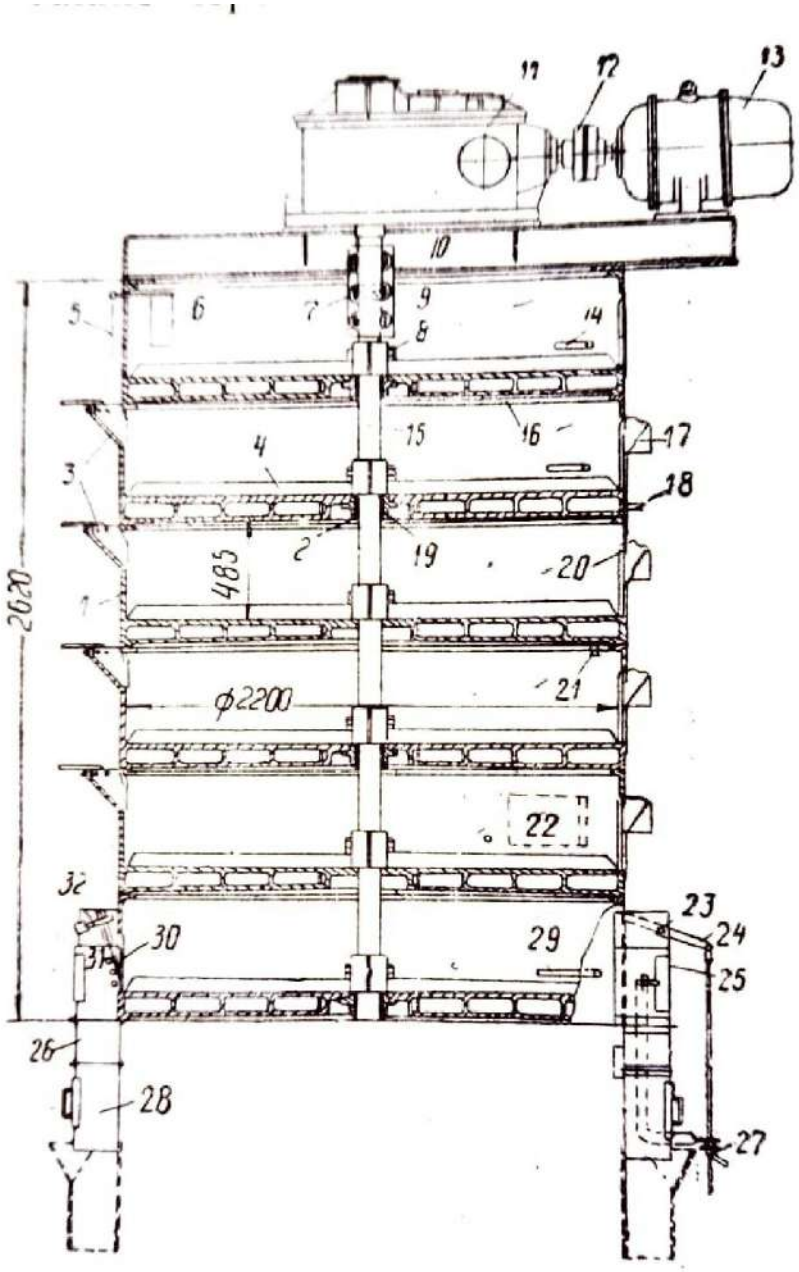


Рис. 1.2. Шестичанная жаровня ФП:

1-чаны; 2-чугунные стаканы; 3-карманы; 4-мешалки; 5-стрелка указателя уровня мезги; 6-поплавковое устройство; 7-заточка; 8-болты; 9-муфта; 10-рама; 11-редуктор; 12-муфта; 13-электродвигатель; 14-патрубок для ввода острого пара; 15-вал; 16-днища; 17-шарнирные заслонки; 18-патрубок для подвода глухого пара в днища; 19-бронзовые втулки; 20-лючки; 21- патрубок для выхода конденсата; 22-смотровой люк; 23-ось шиберного рычага; 24-тяга; 25-дверцы; 26-течка; 27-барашек; 28-воронки форпрессов; 29-патрубок для термометра; 30-боковые отверстия; 31-наклонный шибер; 32-рычаг;

Жаровня состоит из шести чанов 1, расположенных друг над другом, и редуктора 11. Жаровня монтируется на трех колоннах. Чугунные днища 16 чанов имеют полости для ввода греющего пара. В каждом чане жаровни находится мешалка 4, закрепленная на вертикальном валу 15 болтами 8. Вал 15 приводится в движение электродвигателем 13. В местах прохода вала через днища первого, второго, четвертого и шестого и шестого чанов располагаются чугунные стаканы 2 с бронзовыми втулками 19. Во втулках имеются каналы и отверстия для ввода консистентной смазки с помощью колпачковых масленок.

Редуктор и электродвигатель монтируются на раме 10. Вал электродвигателя соединен с ведомым валом редуктора через эластичную муфту 12. Ведущий вал редуктора и вал жаровни соединены муфтой 9, в заточке 7, которой подвешивается вал жаровни.

Для перепуска мезги из одного чан в другой служат сегментные клапаны с поплавковыми щитами. На валике каждого щита вне чана закреплен рычаг, являющийся указателем уровня мезги в жаровне. От рычага вниз спускается тяга, закрепляемая клеммой в угольнике. Для перепуска мезги из одного чана в другой могут быть использованы также шарнирные клапаны.

Указателем уровня мезги в верхнем чане жаровни служит поплавковое устройство 6 со стрелкой 5.

Обечайки четырех чанов жаровни имеют карманы 3 с задвижками для отбора проб и вентиляционные лючки 20 с шарнирными заслонками 17.

Для подачи в форпрессы готовой мезги в нижнем чане жаровни имеются два боковых отверстия 30 с наклонными шиберами 31. Степень закрытия этих шиберов регулируют рычагом 32, вращающимся на оси 23, и тягой 24, фиксируемой барашком 27. Выбрасываемая через отверстия 30 мезга из нижнего чана по течке 26 поступает в приемные воронки 28 форпрессов. Для наблюдения за движением мезги в течке устроены дверцы 25.

Пар для обогрева днищ каждого чана подводят через патрубок 18, конденсат выводят через патрубок 21. Для измерения температуры мезги

термометром служит патрубок 29, находящийся в обечайке нижнего чана. Для осмотра внутреннего пространства чанов в каждой обечайке имеется смотровой люк 22.

Жаровню оснащают термометрами, манометрами, предохранительным клапаном на пароразборнике, редукционным клапаном, конденсационными горшками и патрубками 14 для острого пара.

Для лучшего отвода влаги из жаровни её оборудуют аспирационной системой с естественной тягой.

В промышленности применяют также шестичанную жаровню Ж-6, по конструкции аналогичную описанной жаровне ФП. Отличием является то, что днища чанов жаровни Ж-6 выполнены из стали.

Техническая характеристика жаровни ФП

Внутренний диаметр чана, мм……..2200

Внутренняя высота чана, мм……..430

Число чанов, шт. ……6

Рабочее давление пара, кгс/см²……5

Частота вращения мешалки, об/мин……...……21-23

Размер перепускных отверстий, мм …….200 х 200

Поверхность нагрева, м²……22,4

Мощность электродвигателя, кВт……19

Частота вращения ротора электродвигателя, об/мин……960

Эксплуатация

Пуск жаровни после длительной остановке

Перед пуском предварительно проверяют исправность инактиватора или пропарочно-увлажнительного шнека, транспортных приспособлений, питающих жаровню, наличие ограждений на приводах. Затем пускают транспортные элементы, инактиватор или пропарочно-увлажнительный шнек вхолостую.

Если не обнаружено стуков и поломок при пуске вхолостую всех

транспортных элементов, инактиватора или пропарочно-увлажнительного шнека, их временно останавливают и приступают к осмотру магнитной защиты, аспирационной системы, люков, ограждений муфт, амперметров, манометров и термометров.

Необходимо также:

-проверить наличие смазки в редукторе жаровни по указательным стеклам и в масленках для смазывания промежуточных букс вертикального вала;

-осмотреть все площадки и крышки жаровен, убрав посторонние предметы и инструмент;

-провернуть вал жаровни вручную и убедиться в отсутствии посторонних предметов в чанах, используя для осмотра низковольтную переносную лампу.

После этого включают электродвигатель жаровни. Если при этом не замечено никаких неисправностей и стуков, электродвигатель можно временно выключить и приступить к разогреву жаровни. Разогрев жаровни следует начинать за 20 мин до поступления мятки. При этом необходимо: открыть продувочные линии конденсационных горшков, открыть на 1-1,5 оборота общий парозапорный вентиль, а затем медленно пускать глухой пар в чаны жаровен во избежание гидравлических ударов и повреждений паровых рубашек или паропровода.

После прогрева чанов жаровни следует перевести конденсационные горшки на автоматическую работу, включить магнитный сепаратор, питающие транспортные средства, пропарочно-увлажнительный шнек или инактиватор и жаровню. Затем начинают подавать мятку в инактиватор или , пропарочно-увлажнительный шнек, откуда она поступает в первый чан жаровни. С этого момента начинают подавать пар и пароконденсать в , пропарочно-увлажнительный шнек или инактиватор.

В соответсвии с технологическими требованиями наполнение чанов жаровни производят при открытих перепускных клапанах. При этом материал последовательно проходит из первого чана во второй, затем – в третий и т.д.

По заполнении соответсвующего количества чанов жаровни мезгой

проверяют ее температуру в последнем чане и в соответсвии с технологическими требованиями либо продолжают подогрев мезги, либо пускают ее а пресс.

При установившемся режиме работқ жаровни необходимо:

-проверять работу перепускных клапанов; не реже двух раз в смену продувать конденсационные горшки;

-систематически проверять и очищать вытяжные аспирацио

-систематически проверять и очищать вытяжные аспирационные отверстия чанов;

-прослушивать работу редуктора и всей жаровни;

-следить за работой магнитной защиты;

-следить за температурой и влажностью мезги в последнем чане;

Пуск жаровни после кратковременной остановки

Перед пуском жаровни, если она заполнена мезгой, следует провернуть вручную вал жаровни за соединительную муфту редуктора с электродвигателем. После пуска подают глухой пар в жаровню, обильно увлажняют мезгу острым паром в нижнем чане, открывают течку для подачи мятки в жаровню и дают сигнал в вальцовое отделение о необходимости подачи мятки и включают пресс в работу.

Категорически запрещается: работать без магнитной защиты, с давлением пара выше допустимого, с перегрузкой жаровни (по амперметру) выше 35 А (при напряжении в сети 380 В), с недостаточной смазкой в редукторе жаровни и в масленках, без ограждений и с неисправными ограждениями, с неисправными паровыми линиями и вентилями, без манометров.

Длительная остановка жаровни

При необходимости длительной остановки жаровни следует дать сигнал о прекращении подачи мятки из вальцового отделения, закончить обработку мятки, поступившей со всей питающей жаровню транспортно-

технологической линии. После прекращения поступления мятки из инактиватора или из пропарочно-увлажнительного шнека следует начать постепенно (по чанам) регулировать подачу глухого пара с таким расчетом, чтобы не пережарить мезгу. Мезга должна быть сработана полностью из всех чанов, после чего прекращают подачу пара в жаровню, открывают боковые люки жаровен и очищают все чаны.

Неожиданные остановка жаровни

В случае неожиданной остановки жаровни(например, при прекрашении подачи электроэнергии) необходимо выключить электродвигатели жаровни, инактиватора или пропарочно-увлажнительного шнека и всех транспортных элементов, питающих жаровню; прекратить подачу пара а жаровню, мезги в форпрессы. Если длительность остановки будет превышать 1,5 ч, необходимо выгрузить через люки мезгу из жаровни во избежание самовозгорания мезги.

Во время работы при появлении стуков в чанах нужно осмотреть жаровню и выявить место и причину стука; если можно, устранить стук на ходу; если же требуется остановить жаровню, определить, требуется немедленная остановка жаровни или ее можно осуществить по окончании сработки мезги. После удаления мезги следует вскрыть люки и тщательно осмотреть каждый чан жаровни, обращая внимание прежде всего на крепление мешалок (ножей) и клапанов; проверить, не попал ли под ножи посторонний предмет.

В случае неожиданного прекращения вращения ножей, например из-за заклинивания их посторонними предметами, или обрыва соединительной муфты открывают люки, удаляют посторонний предмет, после чего пускают жаровню в установленном порядке[42].

Ростовский завод “Тлавпищемаш" выпускает пятичанные жаровни с диаметром 2000 и высотой 650 мм (рис. 1.3).

В ГДР выпускается семичанная жаровня W - 255/7 в комплекте с прессом

ХСП-18. Производительность жаровни 190 т/сутки в пересчете на семена подсолнечника или хлопчатника.

Трехчанная жаровня экспеллерного агрегата ЕП выпускается в комплекте с шнековым прессом ЕП для окончательного отжима масла из жмыха после предварительного отжима масла в форпрессах [27].

Основные недостатки чанных жаровен - длительность процесса жарения мятки семян масличных культур, что отрицательно влияет на качество получаемого масла и жмыха (шрота). Недожарка и пережарка материала влияет на извлечение масла в прессах и его качество. Чанные жаровни габаритны и энергоемки.

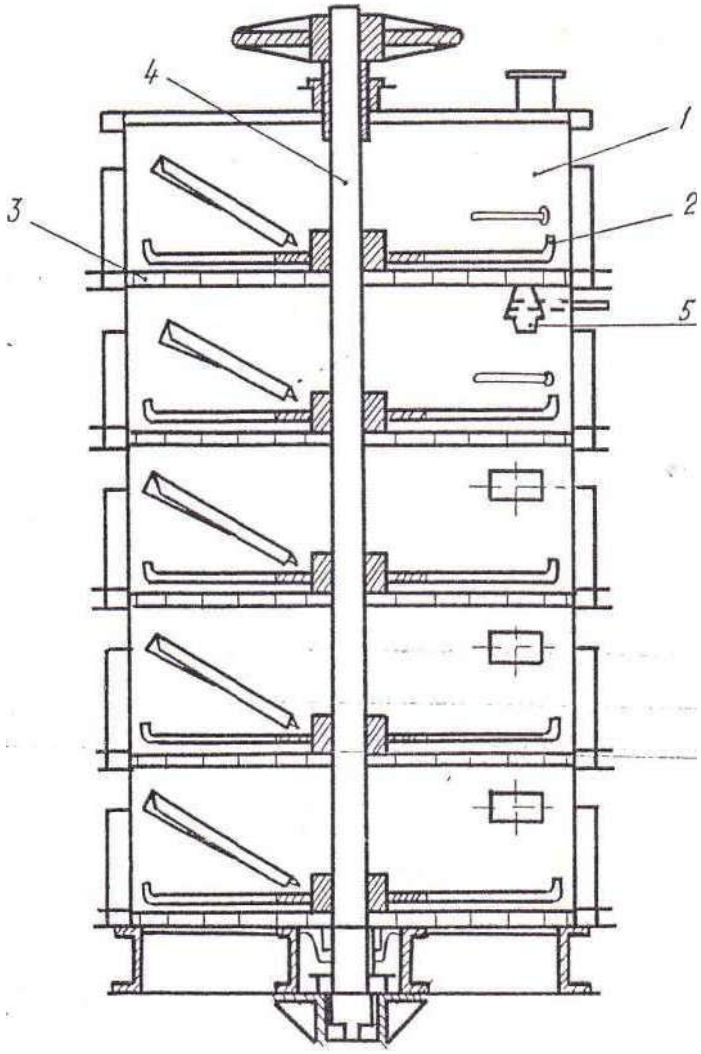


Рис. 1.3. Пятичанная жаровня:
1 - чан, 2 - двухлопастная мешалка, 3 - паровая рубашка, 4 - вал,
5- перепускная течка

Шнековые жаровни просты по устройству, надежны и удобны в обслуживании, но неудовлетворяют некоторым требованиям технологии приготовления мезги. В шнековых жаровнях не велик слой мятки, он находится в состоянии непрерывного перемешивания, в нем происходит интенсивное испарение влаги, т.е. в этих жаровнях не может осуществляться самопропаривание мятки.

Шнековые жаровни применяются в маслодобывающем производстве США [27].

Барабанные жаровни больше удовлетворяют технологическим требованиям и позволяют частично использовать эффект самопропаривания при приготовлении мезги.

Барабанная жаровня входит в состав экспеллерного агрегата МП-21 и представляет собой цилиндр с внутренним диаметром 920 мм с паровой рубашкой, рассчитанной на рабочее давление пара до 7 кг/см^2/, с площадью поверхности нагрева 10,25 м^2. Внутри жаровни находится лопастная мешалка, делающая 32 об/мин. В верхней части жаровни расположен приемный патрубок с питательно-увлажнительным шнеком [27].

Нахождение масличного материала значительную часть времени во взвешенном состоянии увеличивает время контактирования частиц с воздухом и затрудняет самопропаривание мезги (рис. 1.4).

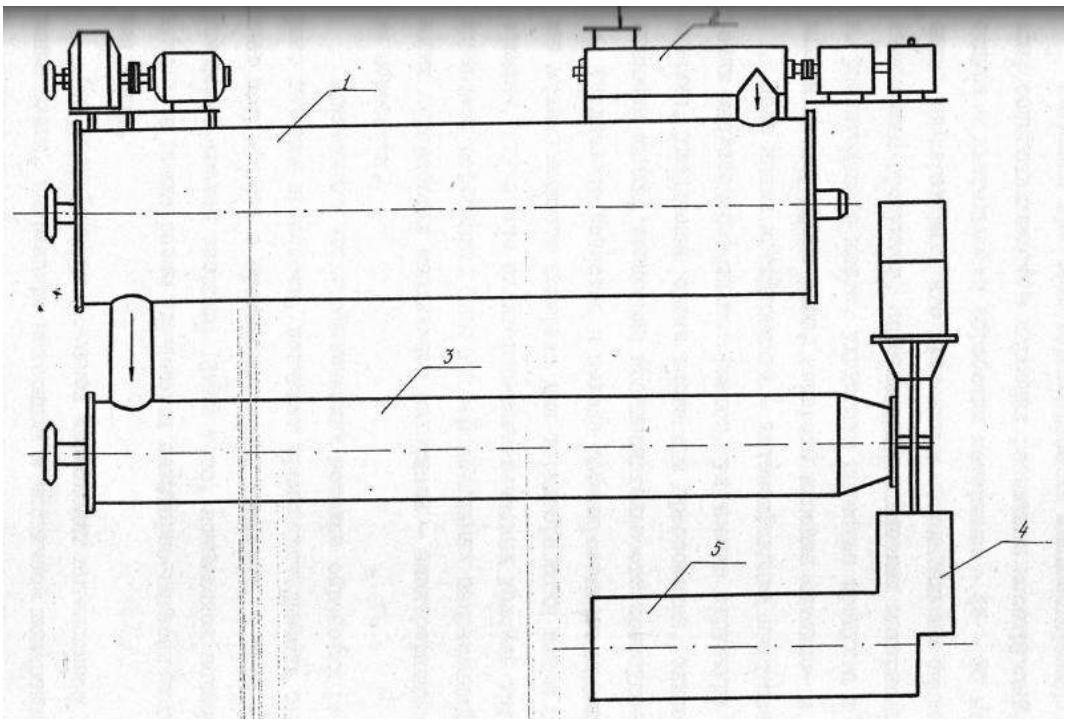


Рис 1.4. Экспеллерный агрегат МП-21

1-барабан жаровни, 2- шнековый питатель, 3-цилиндр темперирующего агрегата, 4- вертикальный зеер, 5- горизонтальный зеер

Изучение патентной и научно-технической информации позволило определить основные тенденции развития техники и технологии процесса влаготепловой обработки маслосодержащих материалов в СССР и за рубежом.

Интенсификация процесса влаготепловой обработки (жарения) может быть достигнута путем обработки мятки семян хлопчатника в поле электромагнитных волн. Показана целесообразность реализации технологии получения растительных масел с использованием ИК-облучения, позволявшей существенно интенсифицировать внутренний и внешний тепломассоперенос, создать высокоэффективную аппаратуру для термообработки масличных культур.

1.6. Постановка цели и задач исследования

Изучение процесса термообработки маслосодержащих материалов, осуществляемого в жаровнях различных конструкций, свидетельствует о длительности обработки материала - 45 - 50 мин. при высоких температурах, что приводит к нежелательным биохимическим изменениям продуктов,

содержащихся в клетках материала, особенно растительного масла, ухудшению качества продукта *и* уменьшению выхода масла. Кроме того, аппараты жарения металло- и энергоемки.

Цель наших исследований - интенсификация процесса термообработки маслосодержащих материалов, улучшение структуры мятки при жарении, увеличение съема масла при прессовании, снижение масличности жмыха, повышение производительности прессующего агрегата, увеличение качества и выхода рафинированного масла, уменьшение металлоемкости аппарата для термообработки мятки семян хлопчатника, улучшение санитарно-гигиенических условий труда обслуживающего персонала. Одно из перспективных направлений в технологии переработки масличного материала - электрофизические методы обработки.

Применение электрофизических методов обработки резко ускоряет течение процессов, повышает производительность труда, снижает потребность в производственных площадях, в ряде случаев уменьшает расход энергии. Кроме того, повышается качество продукции, а также резко улучшаются санитарно-гигиенические условия труда.

Под воздействием ИК-лучей происходит интенсивное проникновение влаги, нагревание материала и частичное испарение влаги, разрушение клеток маслосодержащего материала. Разрушение клеток материала приводит к раскрытию пор, благодаря чему значительно возрастает выход прессового масла, В связи с этим для термообработки мятки семян хлопчатника в поле электромагнитных волн в ИК диапазоне необходимо решить следующие научные и практические задачи:

- изучить теплофизические и термодинамические свойства мятки семян хлопчатника;
- изучить теоретические основы тепломассопереноса при термообработке маслосодержащего материала хлопковых семян коротковолновыми ИК-лучами;
- исследовать факторы, влияющие на процесс термообработки мятки

семян хлопчатника с целью их оптимизации;

- построить математическую модель тепломассообмена при ИК-нагреве маслосодержащих материалов;
- разработать аппарат и методику инженерного расчета для термообработки мятки семян хлопчатника

ГЛАВА 2. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЯТКИ СЕМЯН ХЛОПЧАТНИКА

Изучение теплофизических свойств маслосодержащего материала (мятки семян хлопчатника) необходимая ступень при определении оптимальных режимов её влаготепловой обработки в зависимости от различных факторов. В работах А.В. Лыкова, Г.М. Кондратьева, А.Ф. Чудновского, А.С. Гинзбурга и З.С. Салимова [14, 31, 37] описаны методы определения теплофизических характеристик для различных материалов в разных агрегатных состояниях.

К основным теплофизическим характеристикам материалов относятся терморадиационные характеристики, удельная теплоемкость $C_{уд}$, коэффициент тепло- λ_T и температуропроводности a, которые зависят от свойств, влажности и температуры материала.

2.1. Термодинамические характеристики и теплоемкость мятки хлопковых семян

Термодинамические параметры и массообменные характеристики определяют интенсивность переноса влаги внутри материала так же, как теплофизические характеристики определяют 'интенсивность переноса теплоты. В работах [31] изучены термодинамические характеристики хлопковой мятки и приведены уравнения, характеризующие перенос теплоты и влаги. Уравнение переноса потока теплоты определяется по общеизвестной формуле

$$q = -\lambda_T \nabla \theta, \qquad (2.1)$$

равнение потока массы – по

$$q_m = -\lambda_m \nabla \theta_m , \qquad (2.2)$$

поток влаги

$$q_m = -\left(\frac{\lambda_m}{C_m}\right) \nabla U, \qquad (2.3)$$

где λ_T, λ_m- коэффициенты теплопроводности и массопроводности мятки;

C, C_m - удельная теплоемкость и удельная массоемкость мятки.

$\nabla = -\frac{d}{dx} + \frac{d}{dy} + \frac{d}{dz}$ - оператор Гамильтона

Технологические свойства материалов могут быть описаны термодинамическими параметрами (характеристиками). Если рассматривать материалы и находящуюся в них влагу как термодинамическую систему, то влажном; материалу присущи известные термодинамические характеристики: потенциал переноса массы (влаги), удельная масса, энергия связи влаги с материалом и др.

Удельная теплоемкость характеризует способность вещества аккумулировать в себе тепловую энергию. Этот параметр, как правило, входит в тепловой баланс, в известной степени он оказывает влияние на многие критерии теплового подобия ($P_ч$ $P_е$, $K_ц$ и др.). Удельная теплоемкость определяется из соотношения

$$C = Q/(m \Delta T) \qquad (2.4)$$

где Q - количество тепла, идущее на нагревание тела, Дж;

ΔT - увеличение температуры тела, К;

m - масса тела, кг.

На величину удельной теплоемкости большое влияние оказывает влажность материала.

Изучено экспериментальное определение теплофизических свойств маслосодержащих материалов в работах без учета влияния температуры.

В работе [37] использован метод регулярного режима для экспериментального определения основных теплофизических характеристик мятки. Рассматривается охлаждение или нагревание системы произвольной формы и величины, а также любой структуры в среде с постоянной температурой t_C . Если эта система, лишенная тепла внутри и на границах источников, тлела сначала любое распределение температур, то после погружения в среду с постоянной температурой все её точки будут стремиться с течением времени принять температуру t_C.

Коэффициент температуропроводности определяется по формуле

$$a = km, \frac{м^2}{ч} \qquad (2.5)$$

где k - коэффициент формы калориметра;

m - темп охлаждения калориметра.

Коэффициент теплопроводности и удельная теплоемкость определяются по формулам

$$\lambda_T = c\rho_0 a, \qquad (2.6)$$

$$c\,\rho_0 = \left(\frac{\alpha}{m_x} - L - M\right)\psi \cdot \xi \qquad (2.7)$$

где α- коэффициент теплоотдачи;

с - удельная теплоемкость испытуемого материала;

ρ_0 −насыпная масса материала;

m_x −темп охлаждения ламбдакалориметра;

ψ - критерий неравномерности температурного поля тела;

ξ-относительный критерий регулярного охлаждения или нагрева тела;

λ_T, М - константы ламбдакалориметра.

По экспериментальным данным изучения теплофизических свойств мятки хлопковых семян установлены основные влияющие факторы: температура, лузжистость и влажность материала и получены эмпирические формулы для мятки семян хлопчатника, отражающие связь теплофизических свойств от влияющих факторов [37]. Эмпирическая формула для удельной теплоемкости мятки семян хлопчатника имеет вид

$$C = 1322\ 6{,}66 - 85{,}914T + 10{,}446L + 22{,}9354\,W + 0{,}1532\,T^2 + 0{,}2965L^2 + 0{,}1088W^2,$$

(Дж/кг·К) (2.8)

Формула (2.8) справедлива для следующих интервалов значения величин, входящих в неё: *T =294,329 К, W= 0,028-28,35%,* лузжистостъ мягки *L= 0,73-29,85%.*

Однако при изменении температуры маслосодержащих материалов

происходит сложное физическое явление в перестройке структуры компонентов вещества: плавление липидов, денатурация белков, испарение влаги, т.е. нарушается монотонный характер температурной зависимости теплоемкости.

Теплоемкость системы равна количеству теплоты, которое необходимо сообщить материалу для его нагревания на один градус в условиях отсутствия полезной работы. Истинная теплоемкость равна

$$C = \frac{\delta g}{dT} \qquad (2.9)$$

Известно, что уравнение термодинамики имеет вид

$$\delta g = dU + \delta A \qquad (2.10)$$

Подставив в формулу (2.10), получим

$$C = \frac{dU + \delta A}{\delta T} \qquad (2.11)$$

где U - внутренняя энергия;

A - работа внешних сил.

Термодинамическое определение фазовых переходов можно выразить функцией Гиббса и в простейшем случае принять равным

$$dG = d(U - TS + PV) \qquad (2.12)$$

где S - энтропия, Дж/К;

P - давление, Па;

V - объем системы, м^3

В мембранах клеток маслосодержащих материалов при нагреве происходят фазовые перехода - плавление липидов. По данным, такой переход происходит вблизи 0°С при нагревании мембран митохондрий и микросом от 40°С.

Подвижность мембранных липидов и фазовые перехода в них определяются их конформационными свойствами. Плавление липидов происходит путем поворотной изомеризации углеродных цепей - это конформационное плавление.

Существует несколько фазовых переходов.

Фазовому переходу первого рода, характерному для процесса влаготепловой обработки сопутствует изменение скачком энтропии *S* , объема V , вязкости в некоторых компонентах веществ. Поэтому такой переход обязательно сопровождается поглощением или выделением энергии. Теплоемкость вещества при этом переходе имеет бесконечно больную величину (*V = const):*

$$C_V = T(\frac{\partial S}{\partial T})_V = \left(\frac{dU}{dT}\right) \to \infty \qquad (2.13)$$

где *S* - энтропия, Дж/К;

U - внутренняя энергия, Дж;

T - абсолютная температура, К;

P - давление, Па;

V - объем системы (клетки), м^3

Для правильного расчета теплоемкости следует определить удельную теплоту фазового перехода и уменьшить на эту величину значение теплоемкости.

Молярная теплоемкость при постоянном давлении *Ср* определяется из

$$\mathrm{C}_p = C_V + (\frac{\partial V}{\partial T})_p \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right) + P\right] \qquad (2.14)$$

При фазовом переходе второго рода изменения, возникающие в кристаллической решетке вещества, происходят упорядоченно, отсутствует скачкообразное изменение энтропии и объема.

При расчете теплоемкости маслосодержащих материалов необходимо учитывать особенности структурных перестроек белков в процессе температурной денатурации.

Денатурацию можно рассматривать как мономолекулярную реакцию перехода из нативной формы (*A*) в денатурированную форму (*B).*

На основе уравнения Крихгофа можно записать зависимость энтальпии *H* процесса, от температуры *t:*

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p(T)dT, \qquad (2.15)$$

где $C_p(T)$- теплоемкость при постоянном давлении, зависящая от T;

T_1, T_2 - пределы температурных изменений.

В калориметрических приборах теплоемкость C_p находят по формуле

$$C_p = \frac{V_Q}{V_T} \qquad (2.16)$$

где $V_Q = \frac{dQ}{d\tau}$ - тепло, подводимое с постоянной скоростью;

$V_T = \frac{dT}{d\tau}$- регистрирующая скорость повышения температуры образца.

Особую актуальность приобретает термообработка мятки семян хлопчатника, которая позволила ба получить высококачественное масло и шрот с повышенным содержанием белка. Основными факторами, влияющими на качество масла и кормового белка при термообработке, являются влажность и температура обрабатываемого материала.

В связи с этим различные вида влаги, содержащиеся в мятке семян хлопчатника до и после ИК-обработки, определяли методом калориметрии. Дифференциально термическим анализом получены *DTA*- кривая термических эффектов, DG - потери веса, *DTG*- кривая скорости (изменение массы образца).

Полученные результаты показывают, что потери веса имеют три характерные точки: I - потеря веса составляет 10 %, П - 50 Ш - 15 %; физико-механическая, адсорбционная и химически связанная влага удаляется из материала в соответствующих периодах процесса ИК-термообработки; денатурация белков начинается при температуре 50°С и продолжается до 150 °С (Рис. 2.1) / 43 /.

Обрабатывая кривые *DTA*, получил изменение энтальпии и теплоемкости в области фазовых превращений (плавление липидов и денатурация белков) (Рис. 2.2).

Изменение энтальпии этого перехода вычисляется по формуле

$$\Delta H_{\text{ден}} = \int_{\text{Т}_\text{н}}^{\text{Т}_\text{к}} \text{С}_\text{р} dT - \int_{\text{Т}_\text{н}}^{\text{Т}_\text{пл}} c_{\text{р.нат}} d\text{Т} - \int_{\text{Т}_\text{пл}}^{\text{Тк}} \text{С}_{\text{р.ден}}\ dT = \Delta\text{Н} - \int_{\text{Т}_1}^{\text{Т}_\text{пл}} \Delta\text{С}_{\text{р.пл}} \quad dT \quad (2.17)$$

где $\Delta H_{\text{п}}$ - молярная энтальпия перехода;

$\text{Т}_{\text{пл}}$- температура плавления;

$\text{С}_{\text{р.нат}}, \text{С}_{\text{р.ден}}, \text{С}_{\text{р.пл}}$ - теплоемкость мятки семян хлопчатника в нативном, денатурированном состоянии и разность этих величин при $\text{Т}_{\text{пл}}$.

Изменение энтропии составляет

$$\Delta S_{\text{ден}} = \frac{\Delta\text{Н}_\text{п}}{T_{\text{пл}}} - \int_{\text{Т}_\text{н}}^{T_{\text{пл}}} \frac{\Delta\text{С}_{\text{р.п}}}{\text{Т}}\ dT, \qquad (2.18)$$

а свободная энергия Гиббса ΔG равна

$$\Delta G_{\text{ден}} = \Delta\text{Н}_{\text{ден}} - \text{Т}_\text{н}\Delta S_{\text{ден}} \qquad (2.19)$$

или

$$G_{\text{ден}} = \Delta\text{Н}\frac{\text{Т}_{\text{пл}} - \text{Т}_\text{н}}{\text{Т}_{\text{пл}}} - \int_{\text{Т}_\text{н}}^{\text{Т}_{\text{пл}}} \frac{\text{Т} - \text{Т}_\text{н}}{\text{Т}} \Delta\text{С}_{\text{р.п}} dT \qquad (2.20)$$

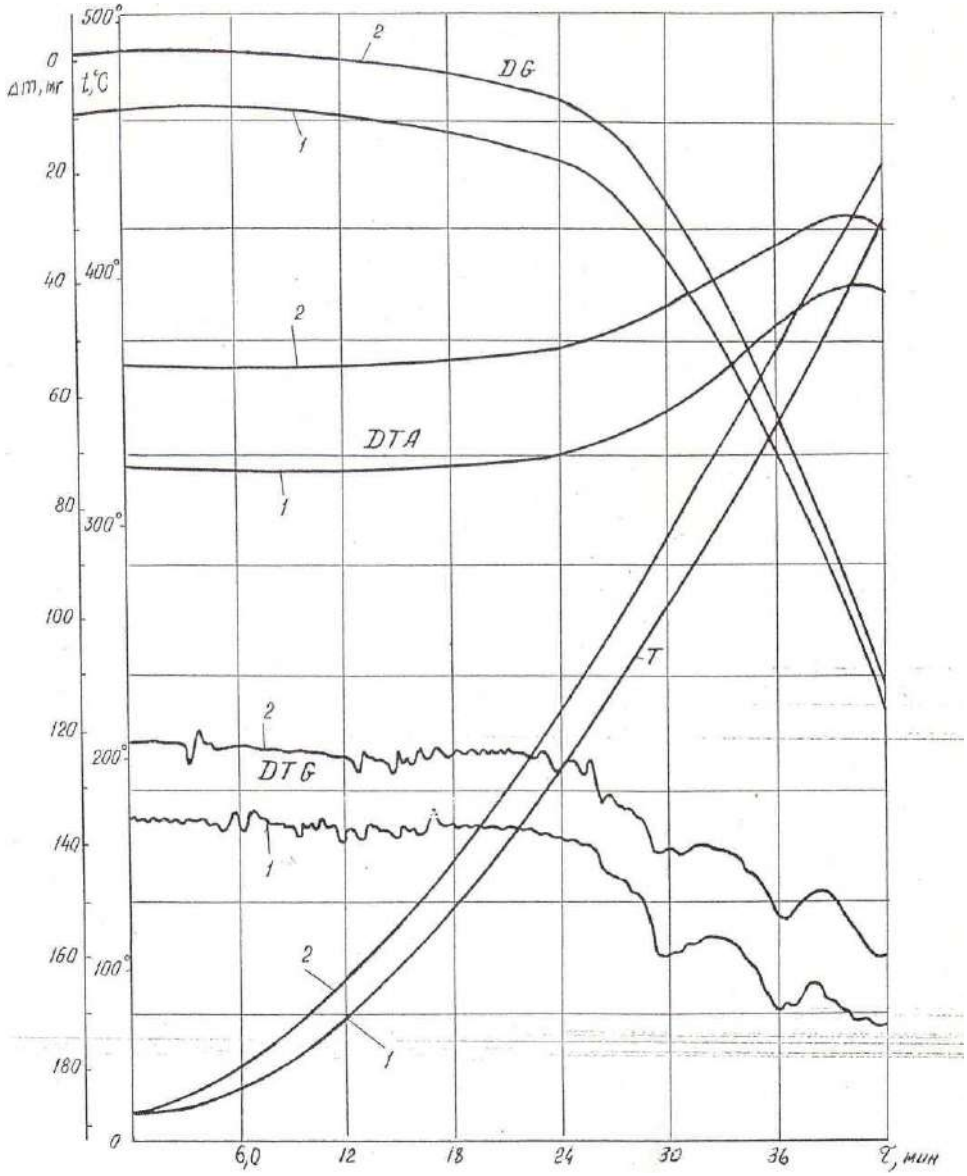


Рис. 2.1 Дериватограммы мятки семян хлопчатника : 1 - мятка, обработанная в чанных жаровнях; 2 -мятка, обработанная в ИК-жаровне; DTA- кривая термических эффектов; DTG- кривая скорости (изменения массы образца); DG - потери веса

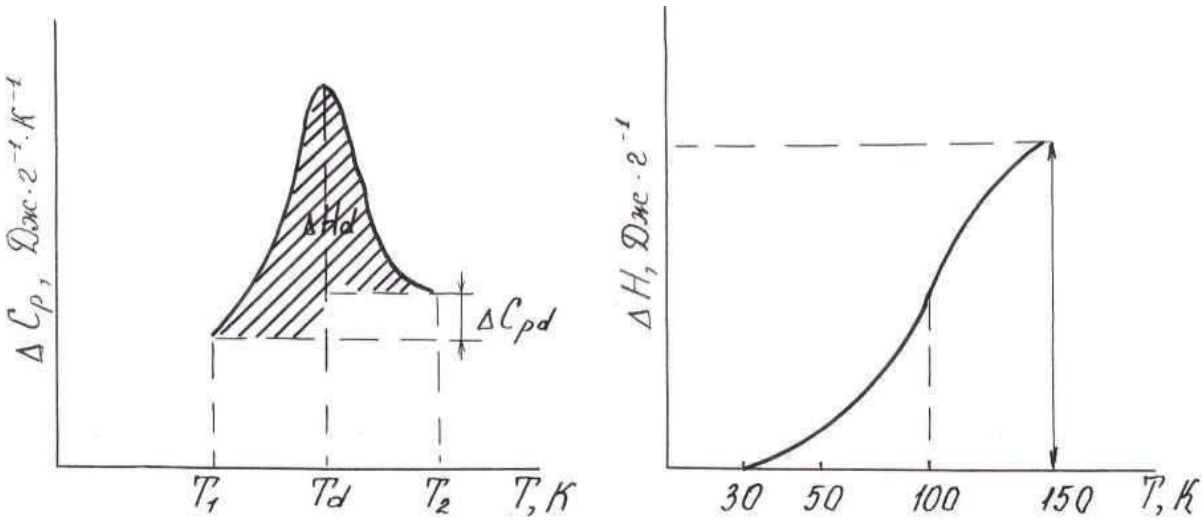


Рис. 2.2. Изменение теплоемкости (Δ C_p) и энтальпии (ΔH) в области фазовых превращений мятки семян хлопчатника:

T_1 - температура начала процесса плавления, T_d- температура максимума теплопоглощения (температура плавления), T_2- температура конца процесса плавления, ΔH- энтальпия плавления, ΔC_{pd}- возможность изменения теплоемкости после тепловой денатурации.

2.2.Теплопроводность и температуропроводность мятки хлопковых семян

На коэффициент теплопроводности λ влияют давление, температура и влажность. В разных маслосодержащих материалах коэффициент теплопроводности разный в зависимости от температуры. Значит, коэффициент теплопроводности маслосодержащего материала прямо пропорционален температуре. Для дисперсных материалов λ зависит, кроме влажности, от размера частиц, пористости, объемной массы и т.д.

Аналитически λ получается из уравнения фурье для стационарного процесса

$$\lambda = Q/\frac{\Delta T}{\Delta l} s\tau \qquad (2.21)$$

где Q - количество тепла, проходящее через поверхность тела при стационарном процессе, Дж;

S - площадь тела, воспринимающего тепло, м^2;

ΔT- разность температуры на изотермических поверхностях тела, К;

Δl- расстояние между изотермическими поверхностями тела, м;

τ- время, в течение которого идет теплопередача, с.

Мятка семян хлопчатника относится к многокомпонентным системам, поэтому для неё коэффициент теплопроводности λ_T-эффективный коэффициент.

Эмпирическая формула, определяющая значение коэффициента теплопроводности для мятки семян хлопчатника, имеет вид

$$\lambda_T = 0{,}08288 - 0{,}001048\,T + 0{,}00272Л + 0{,}00022\,W + 0{,}0000032\,T^2 + 0{,}0005Л^2 + 0{,}000001796\,W^2, \text{Вт/м} \cdot \text{К} \quad (2.22)$$

При соблюдении значений факторов, влияющих в интервале

T= 294-329K, W=0,028 -28,35%, лузжистость мятки

Л=0,73-29,85%= (0,072 ÷0,201)Вт/м·К

Значение коэффициента теплопроводности мятки семян хлопчатника показывает, что при контактном способе нагрева средние слои обрабатываемого материала нагреваются медленно, вследствие чего нагрев по высоте слоя неравномерный. Очевидно, при электрофизическом методе обработки продуктов воздействие коэффициента теплопроводности незначительно, так как обработка маслосодержащих материалов в поле электромагнитных волн происходит за короткое время.

Коэффициент температуропроводности α- физический параметр вещества, характеризующий скорость изменения температуры. Если коэффициент теплопроводности характеризует способность тел проводить теплоту, то коэффициент температуропроводности - мера теплоинерционных свойств тела. Коэффициент температуропроводности зависит от скорости изменения температуры.

Коэффициент температуропроводности численно равен количеству тепла, которое передается теплопроводностью через единицу поверхности в единицу времени при градиенте объемной концентрации внутренней энергии

равной единице.

Эмпирическая формула, показывающая значение коэффициента температуропроводности мятки семян хлопчатника при *T= 294-329K, W= 0,028-28,35%* лузжистости мятки *Л=0,73-29, 85 %* имеет вид [37]

$$a=(-30,742 + 0,22T + 0,4Л-0,014W - 0,0003\ T^2 - 0,0107\ Л^2 - 0,00095\ W^2)\cdot 10^8,\ м^2/с \quad (2.23)$$

Существует зависимость между коэффициентами λ_T и α :

$$\alpha = \lambda_T / \mathrm{C} \cdot \rho_0 \quad (2.24)$$

где *C* - удельная теплоемкость, Дж/кг.К;

ρ_0 - объемная или насыпная масса материала, кг/м^3

2.3. Влаготеплопроводность и терморадиационные характеристики мятки семян хлопчатника

Коэффициент влагопроводности тела равен произведению потенциале проводности на объемную влагоемкость тела :

$$\lambda_m = \alpha_m c_m \rho_0 \quad (2.25)$$

где α_m- коэффициент диффузии влаги;

C_m - объемная влагоемкость материала;

ρ_m - плотность абсолютно сухой части материала.

В продуктах переработки семян хлопчатника (мятка, шрот) с увеличением влажности до 16% коэффициент влагопроводности увеличивается, по данным [37], от (0,37 - 1,44)·10^5 до (2,44 - 2,48)·10^5 м^2/ч. Такое изменение обусловлено молярным переносом капиллярной влаги за счет углубления зон испарения.

По свойствам влагообмена семена и продукты их переработки отличаются друг от друга.

По абсолютной величине коэффициент влагопроводности λ_m мятки семян хлопчатника (при влажности 8 - 10 %) составляет $\lambda_m = 1,6 \cdot 10^{-5}$, для

шрота $\lambda_m = 0{,}87 \cdot 10^{-5}$м^2/ч

Значение коэффициентов температуропроводности и влаготеплопроводности мятки семян хлопчатника, приведенные в работе акад. АН УзССР Салимова З.С., необходимо применять для тепловых и конструктивных расчетов ИК-установки.

Маслосодержащие материалы растительного происхождения по своим физико-химическим свойствам и структуре относятся к группе капиллярно-пористых коллоидных тел, поэтому поглощение и рассеяние излучения в рассматриваемых материалах сопровождаются следующими процессами [10, 15, 20, 22, 30] :

– резонансным поглощением излучения молекулами сухого вещества масличных семян (компонентами; белками; липидами; клетчаткой и пр.) и молекулами структурной и связанной с материалом воды;

– рассеянием излучения на взвешенных коллоидных частицах, клетках, органоидах, частицах пигмента и др.;

– рассеянием на других оптических неоднородностях - капиллярах и порах в капиллярно-пористых коллоидных телах и т.д.;

– рассеянием, обусловленным флуктуациями плотности или концентрации вещества, а также рассеянием на молекулах белков, липидов, полимеров и др.

Мятка семян хлопчатника, как и другие маслосодержащие материалы (подсолнечник, бобы какао, арахис и т.д.), относится к многослойным системам. Проникновение ИК-излучения в материал существенно влияет не только на характер полей температур, но и на распределение внутри слоя влаги, в зависимости от содержания которой изменяются оптические свойства её. Процессы ИК-облучения приводят к образованию многослойных систем при наличии подвижных фазовых превращений. В начальный период времени при ИК-облучении происходит обезвоживание поверхностного слоя в связи с перемещением влаги внутрь образца, обусловленным термовлагопроводностью, В материале образуются “сухие”, влажные зоны и

зоны фазовых превращений.

Терморадиационные характеристики мятки семян хлопчатника (отражательная R_λ, пропускательная T_λ и поглощательная A_λ способности) необходимо знать для определения рассеяния и поглощения маслосодержащими материалами (мяткой) лучистого потока при ИК-нагреве.

Выбор рациональных режимов инфракрасного облучения в технологических процессах, как указывается в [21], должен производиться на основе детального изучения всех свойств облучаемого материала и в первую очередь их оптических и терморадиационных характеристик.

Терморадиационные характеристики семян хлопчатника как объекта сутки впервые рассмотрены в [5].

Семена хлопчатника состоят из прочной семенной оболочки, представляющей собой многослойную систему из плотно примыкающих друг к другу одревесневших в различной степени по слоям растительных клеток и ядра, свободно лежащего внутри оболочки. Между клетками эпидермиса размещаются сильно вытянутые в виде волосков неодревесневшие целлюлозные клетки - волокно, линт (пух) и делинт (подпушек).

Оболочка семян хлопчатника относится к капиллярно-пористым материалам, ядро - к коллоидным. Структура, форма и размеры клеток оболочки и ядра различны, поэтому их оптические свойства поглощать и рассеивать излучение различаются. Мятка семян относится к инертному пористому телу, в порах которого находится масло. Наличие пор различных размеров определяет сложную зависимость поглощения и рассеяния инфракрасного излучения от длины волны. По расчетам, средняя пористость хлопкового семени составляет 0,32, при этом наименьший диаметр пор равен $0{,}06 \cdot 10^{-5}$ см наибольший - $0{,}229 \cdot 10^{-5}$ см.

В спектрофотометрической лаборатории МТИШ по известной методике [22] с помощью специальных приставок для измерения отражательных и пропускательных характеристик сыпучих материалов на спектрофотометре СФ - 4А и спектрофотометре ИКС -12 были измерены отражательная и

пропускательная способности ядра различной толщины в области 0,4 - 5,0 мкм.

На рис. 2.3 можно увидеть спектры отражения и пропускания образцов мятки семян хлопчатника различной толщины. В диапазоне волн 0,4 - 5,0 мкм отражательная способность возрастает с увеличением толщины ядра, пропускательная уменьшается. Максимальные значения отражательной способности наблюдаются при длине волны 1,0 мкм: при $\delta = 1$мм $-$ $R_{\lambda max} = 60\%, T_{\lambda max} = 38\%,$ при $\delta = 2$мм $- R_{\lambda max} = 70\%, T_{\lambda max} = 25\%$.

Поглощательная способность, характеризующая степень черноты материала, зависит от отражательной R_λ и пропускательной T_λ характеристик:

$$A_\lambda = 1 - R_\lambda - T_\lambda \qquad (2.14)$$

Зависимость поглощательной способности ядра от толщины слоя обрабатываемого материала (ядра) приведена на рис. 2.4.

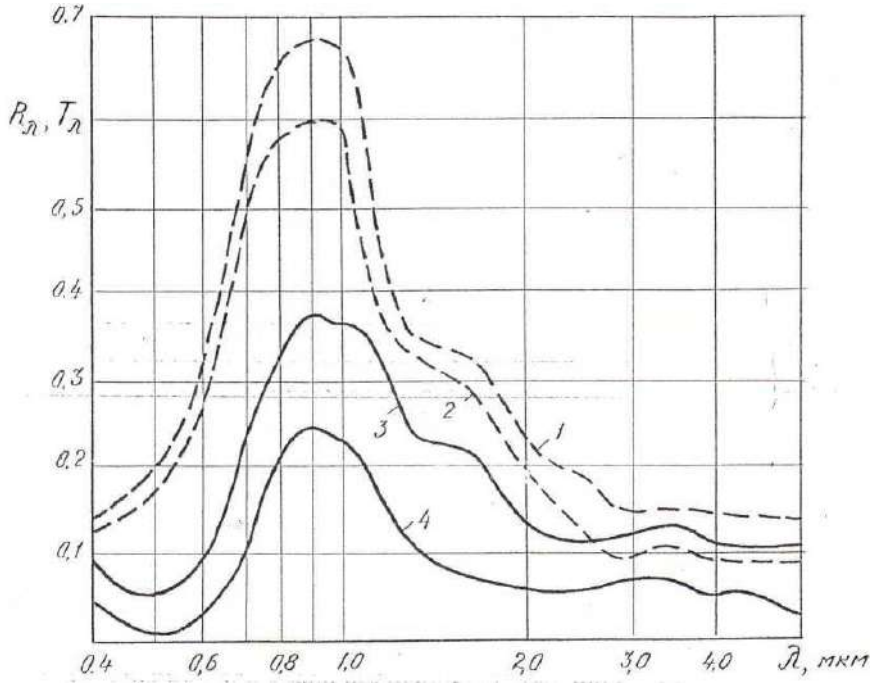


Рис. 2.3. Зависимость отражательной R_λ и пропускательной способности мятки семян хлопчатника от длины волны излучения:$1 - \delta = 1$ мм, $2 - \delta = 2$ мм, $3 - \delta = 1$ мм, $4 - \delta = 2$ мм

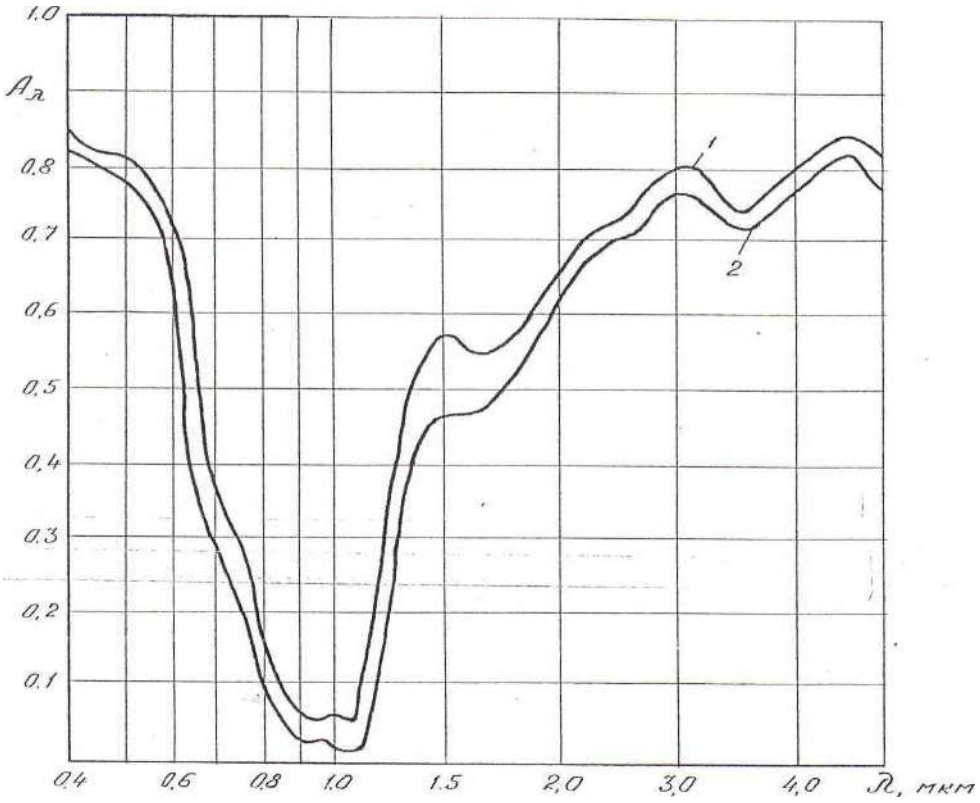


Рис. 2.4. Зависимость поглощательной A_λ способности мятки семян хлопчатника от длины волны излучения

λ: $1 - \delta = 1$ мм, $2 - \delta = 2$ мм

С увеличением толщины слоя мятки увеличивается его поглощательная способность в области 0,4 - 5,0 мкм. Мятка в области спектра 0,4 мкм поглощает 83 % энергии, в области 0,8 - 1,0 мкм поглощательная способность уменьшается до 6 - 8 %, начиная с 1,1 мкм увеличивается до 81 - 85 %,

Исследования терморадиационных характеристик семян хлопчатника в интервале длин волн 0,4 - 5,0 мкм выявили целесообразно применения ИК-излучателей с максимальным излучением в диапазоне волн λ = 1,1 мкм.

2.4. Поля излучения, температуры и влагосодержания при ИК-нагреве мятки семян хлопчатника

В последние годы интенсивно и плодотворно развивается сравнительно новое направление в пищевой технологии - обработка продуктов физическими методами: с помощью СВЧ-энергии, инфракрасного излучения, акустических колебаний. Для дальнейшего развития и совершенствования этих методов

важное значение имеет изучение диэлектрических, оптических и акустических свойств пищевых продуктов [29].

В работах [12, 16, 25, 26, 30] изучены терморадиационные и оптические свойства пищевых продуктов, которые являются теоретической основой тепломассопереноса при высоком эффективном энергоподводе. Серьезные затруднения возникают при определении характеристик в областях температур, близких к фазовым переходам. Исследования осложняются также нелинейным течением коагуляционно-денатурационных процессов, особенно для пищевых продуктов, в составе которых преобладают белки [25, 26, 29, 30, 31].

Изучение теплофизических характеристик в процессе тепломассообмена имеет важное значение при решении поставленной задачи. Теплофизические характеристики многих пищевых материалов достаточно полно изучены в нашей стране [6, 25, 29, 30, 31] и за рубежом [51, 52, 53, 54, 55],

Полученные теоретические выражения, характеризующие распределение монохроматических потоков излучения внутри капиллярнопористых коллоидных материалов, а также гипотеза о возможности приближенного принятия независимости спектральных коэффициентов поглощения $К_\lambda$ и рассеяния "назад" S_λ от координаты X нуждается в экспериментальной проверке, для чего необходимо установить связь между оптическими и терморадиационными характеристиками материалов [18].

При одностороннем облучении мятки (ядра после вальцевания) масличных семян потоком плотностью E сверху слой материала будет облучаться диффузионным потоком вследствие многократного отражения лучей от стенок установки, рефлектора и самого материала. Для исследования процесса массообмена в слое материала необходимо знать распределение лучистой энергии по элементарным слоям.

Для безразмерной величины плотности встречного потока, рассеянного "назад", при диффузном одностороннем облучении можно получить формулу, определяющую отражательную способность

$$R_\lambda = \frac{E_+^*/E_{\lambda 2п}=0/}{E_{\lambda 1п}} = R_\infty \quad \frac{1-\exp(-2L_\lambda^*\tau l)}{1-R_{\lambda\infty}^2\exp(-2L_\lambda^*\tau l)} \qquad (2.15)$$

Пропускательная способность при одностороннем облучении определяется из выражения

$$T_\lambda = \frac{E_+^*/E_{\lambda 2п}=0/}{E_{\lambda 1п}} = R_\infty \quad \frac{(1-R_{\lambda\infty}^2)\exp(-L_\lambda^*\tau l)}{1-R_{\lambda\infty}^2\exp(-2L_\lambda^*\tau l)} \qquad (2.16)$$

Поглощательная способность вещества показывает, какая часть лучистой энергии поглощается телом при температуре T и длине волны излучения λ.

Доля энергии излучения, поглощенной слоем конечной толщины, может быть найдена из закона сохранения энергии

$$A_\lambda = 1 - (R_\lambda + T_\lambda) = 1 - \frac{R_{\lambda\infty}+\exp(-L_\lambda^* l)}{1+R_{\lambda\infty}\exp(-L_\lambda^* l)} \qquad (2.17)$$

Для предельных случаев получаем известные соотношения

$$A_\lambda(\bar{k}_\lambda = 0) = 0; \;\; A_\lambda(S_\lambda = 0) = 1 - \exp(-\bar{k}_\lambda l) \qquad (2.18)$$

Для слоя конечной толщины формулы (2.15) и (2.16) в приближении Шустера-Шварцшильда $(m = 2, \delta_f = 0.5)$дают завышенные результаты для R_λ и заниженные для T_λ.

Между излучательной и поглощательной способностью материала существует взаимная связь, определяемая законом Кирхгофа для интегрального лучистого потока излучения

$$E_T/A_T = const = f(\lambda; T), \qquad (2.19)$$

где A_T и E_T - соответственно полные поглощательная и излучательная способности тела для интегрального лучистого потока, т.е. для длин волн от $\lambda = 0$ до $\lambda = \infty$.

Изучение оптических свойств мятки семян хлопчатника позволит интенсифицировать процесс влаготепловой обработки её, определить факторы, влияющие на процесс термообработки (плотность теплового потока q, длина волны излучения λ, толщина слоя обрабатываемого материала δ) и их оптимальные значения, что необходимо для создания металло- и

энергосберегающих аппаратов, отвечающих современным требованиям.

Процессы тепло- и массообмена при ИК-облучении пищевых продуктов и других капиллярно-пористых коллоидных материалов имеют свои специфические особенности, связанные с проникновением в материал ИК-излучения, которое воздействует на структуру вещества и интенсифицирует процессы фазовых превращений, а также биохимические процессы. Проникновение ИК-излучения в материал существенно влияет на характер полей температуры и влажности. Экспериментальные исследования спектральных терморадиационных характеристик пищевых продуктов и других материалов показывают, что при облучении высокотемпературными ИК-генераторами типа ИК, ЗС, КГ, КИ, КГТ и солнечной радиацией глубина проникновения 0,01 доли падающего потока излучения достигает от 5 - 10 мм до 40 мм [16].

Во многих пищевых продуктах и в капиллярно-пористых коллоидных материалах, сходных с пищевыми продуктами по оптическим и структурным свойствам, было обнаружено аномальное распределение температуры по толщине слоя - температура на глубине 1 - 6 мм выше температуры поверхности на 1 - 10°С и в некоторых случаях на 20°С.

В начальный период времени при ИК-облучении, несмотря на интенсивный прогрев (иногда до 100°С) поверхностного слоя, заметной потери влаги телом не наблюдается, происходит перераспределение влаги по толщине слоя. Вследствие термовлагопроводности происходит обезвоживание поверхностного слоя в связи с перемещением влаги внутрь.

Проникновение ИК-излучения в слое мятки семян хлопчатника зависит от оптических свойств его.

Под оптическими свойствами материала понимают его пропускательную, поглощательную и отражательную способности.

Перечисленные характеристики зависят от ряда факторов, в том числе от структуры материала, влагоудержания, форм связи влаги, состояния и цвета поверхности.

Оптические характеристики материала могут быть определены с помощью экспериментально найденных терморадиационных характеристик слоя конечной толщины и функциональной связи между коэффициентами $\bar{k}_\lambda, S_\lambda$ и R_λ, T_λ.

При одностороннем облучении мятки семян хлопчатника потоком слоя конечной толщины без подложки количества энергии излучения, поглощенной в единицу времени на глубине X определяется по формуле:

$$W_\lambda^*(x) = (1-\lambda_э)E^* \frac{1+R_{\lambda\infty}}{1-R_{\lambda э}\psi_\lambda^2}\left[\exp(-L^* x) - \frac{R_{\lambda э}\psi_\lambda^2}{R_{\lambda\infty}}\exp\,(L_\lambda^* X)\right] \qquad (2.20)$$

Где $$R_{\lambda э} = \frac{R_{\lambda\infty} - R_{\lambda п}}{R_{\lambda\infty}(1-R_{\lambda п}R_{\lambda\infty})} \qquad (2.21)$$

Из (2.20) следует, что отражение подложкой можно не учитывать при $L_\lambda^* X_e > 4$, так как влияние подложки на общее поле излучения внутри слоя заметно только при малых оптических толщинах, потому что величина ψ_λ^2 близка к нулю уже при $L_\lambda^* X_e \geq 4$;

L - коэффициент эффективности ослабления слоя мятки;

R_∞ −отражательная способность бесконечно толстого слоя мятки семян хлопчатника;

X- оптическая толщина слоя;

$Л_э$- критерий Шустера.

$$Л_э = \frac{S_\lambda}{\bar{k}_\lambda + S_\lambda}$$

S_λ - коэффициент рассеяния "назад", м$^{-1}$;

$\bar{k}_\lambda$ −осредненный коэффициент поглощения, м$^{-1}$.

Формула (2.18) даст возможность определить распределение лучистого потока в слое материала по элементарным слоям.

Оптические характеристики $(\bar{k}_\lambda, S_\lambda)$ можно определить по графическому методу исходя из полученных терморадиационных характеристик R'_λ и T'_λ, которые были измерены с помощью спектрофотометра СФ-4А и ИСК-12 в спектрометрической лаборатории МТИПП [18].

Проникновение ИК-излучения в мятке семян хлопчатника

существенно влияет на характер полей температуры и влажности.

В начальный период времени при ИК-облучении мятки семян хлопчатника происходит интенсивный прогрев (иногда до 80°С) поверхностного слоя, а в нижнем слое температура достигает 40-45°С, так как теплопроводность мятки семян хлопчатника незначительна [37].

Результаты обработки полученных данных на ЭВМ представлены в виде графика зависимостей пространственной облученности(а), поглощенной энергии (б) и температурного поля (в) мятки от толщины слоя (рис. 2.5. а, б, в).

Полученная кривая распределения лучистой энергии и температуры слоя в различной толщине (температурных градиентов), необходима для определения оптимальной толщины обрабатываемого материала, а также для инженерного расчета установок процесса термообработки маслосодержащих материалов

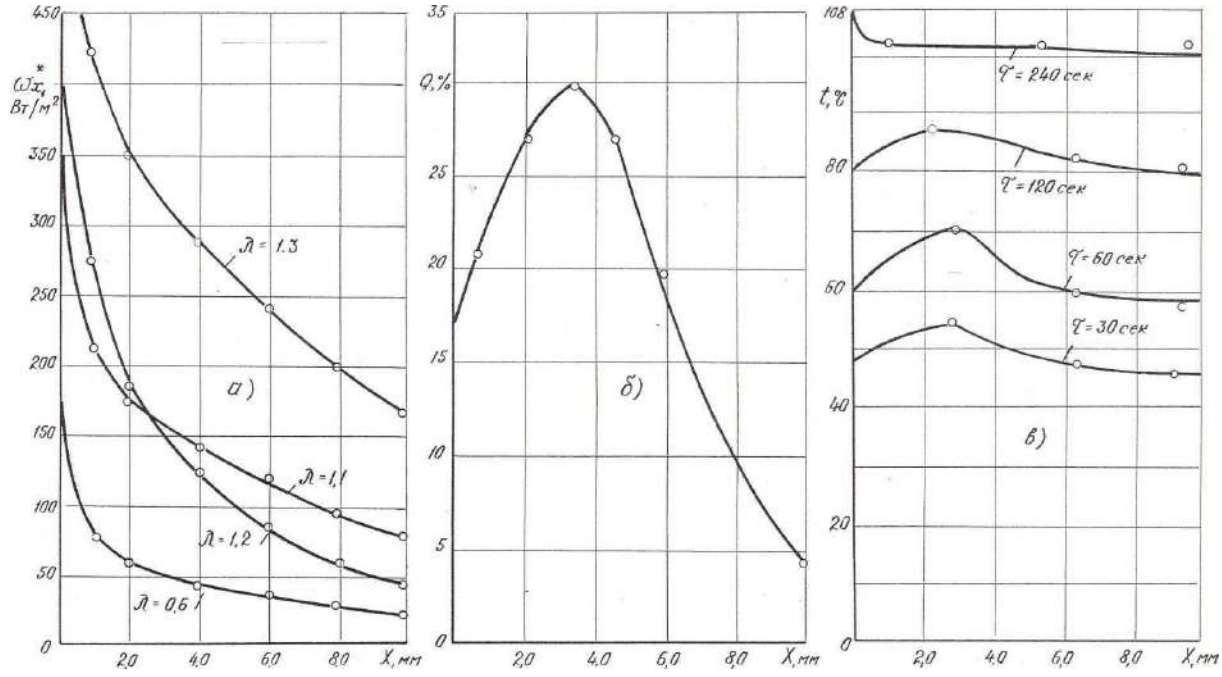


Рис. 2.5. Зависимости пространственной облученности (а), поглощенной энергии (б) и температурного поля (в) мятки от толщины слоя

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1. Экспериментальная установка для исследования термообработки мятки семян хлопчатника

Процесс жарения изучали на экспериментальной ИК-установке (общий вид представлен на рис. 3.1), состоящей из жарочной камеры и пульта управления с контрольно-измерительными приборами, аппаратурой управления и сигнализации.

Установка представляет собой камеру 1, экранированную изнутри алюминиевой фольгой 2, имеющую теплоизоляцию 3 и наружный металлический корпус 10, весы ВЛКТ-500М для измерения убыли влаги 9, металлический подик 8, автоматического самопишущего потенциометра КСП-2 для измерения температуры обрабатываемого материала 7 и регулировочного винта 5.

В качестве ИК-излучателя 4 использованы кварцевые галогенные лампы типа КГ 200 - 1000, которые подсоединены через трансформатор к сети. Предусмотрена возможность изменения напряжения в нити накаливания при помощи трансформатора 6, тем самым получения различных мощностей теплового потока.

Внутренние поверхности рабочей камеры выполнены из полированного алюминия, имеющего высокое отражение в инфракрасной области спектра. Последнее дает возможность за счет многократного отражения создать более равномерный поток облучения, повысить кпд установки и уменьшить потери тепла в окружающую среду. Лампы прикреплены к верхней крышке на держателе II.

Для визуального наблюдения за процессом жарения предусмотрено смотровое окно. В целях техники безопасности помимо заземления всех контрольно-измерительных и силовых устройств предполагается блокировка таким образом, чтобы при открывании двери рабочей камеры отключалась вся установка.

На рис. 3.2 изображена принципиальная схема лабораторного

оборудовани пресса, состоящего из корпуса I, к которому жестко прикреплен домкрат 3, шток 2 домкрата имеет лыску для соединения с поршнем 7, на дне которого вырезан таз для плотного соединения со штоком. Цилиндр 8 предназначен для размещения в нем порции жмыха. Для стекания масла служит трубка 6. Масло накапливается в мензурке 5. Сила выжимания масла измеряется динамометром 9.

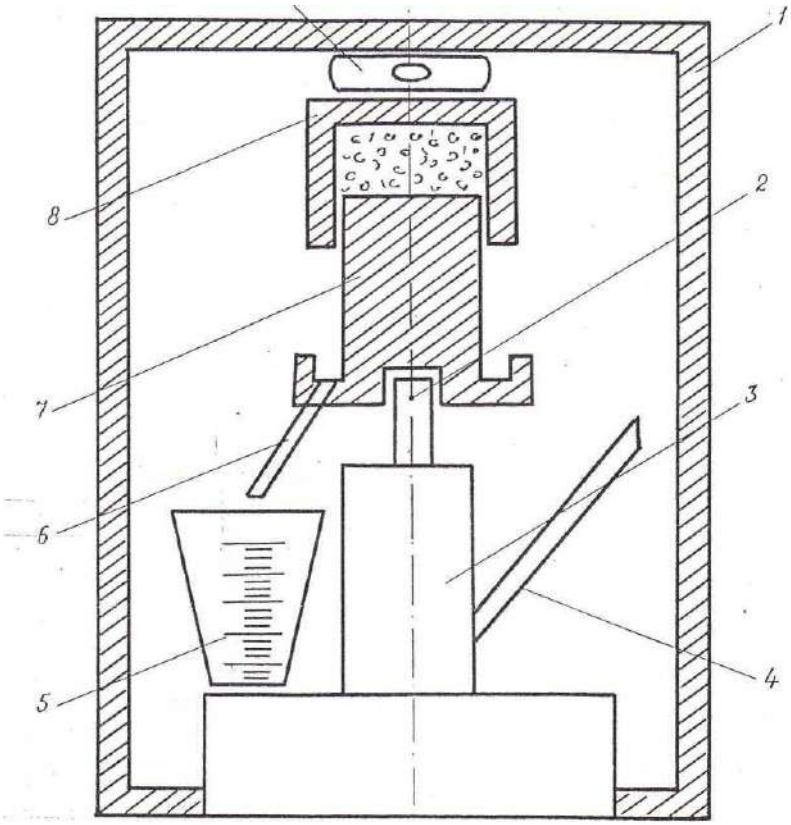


Рис. 3.1. Экспериментальная ИК-установка

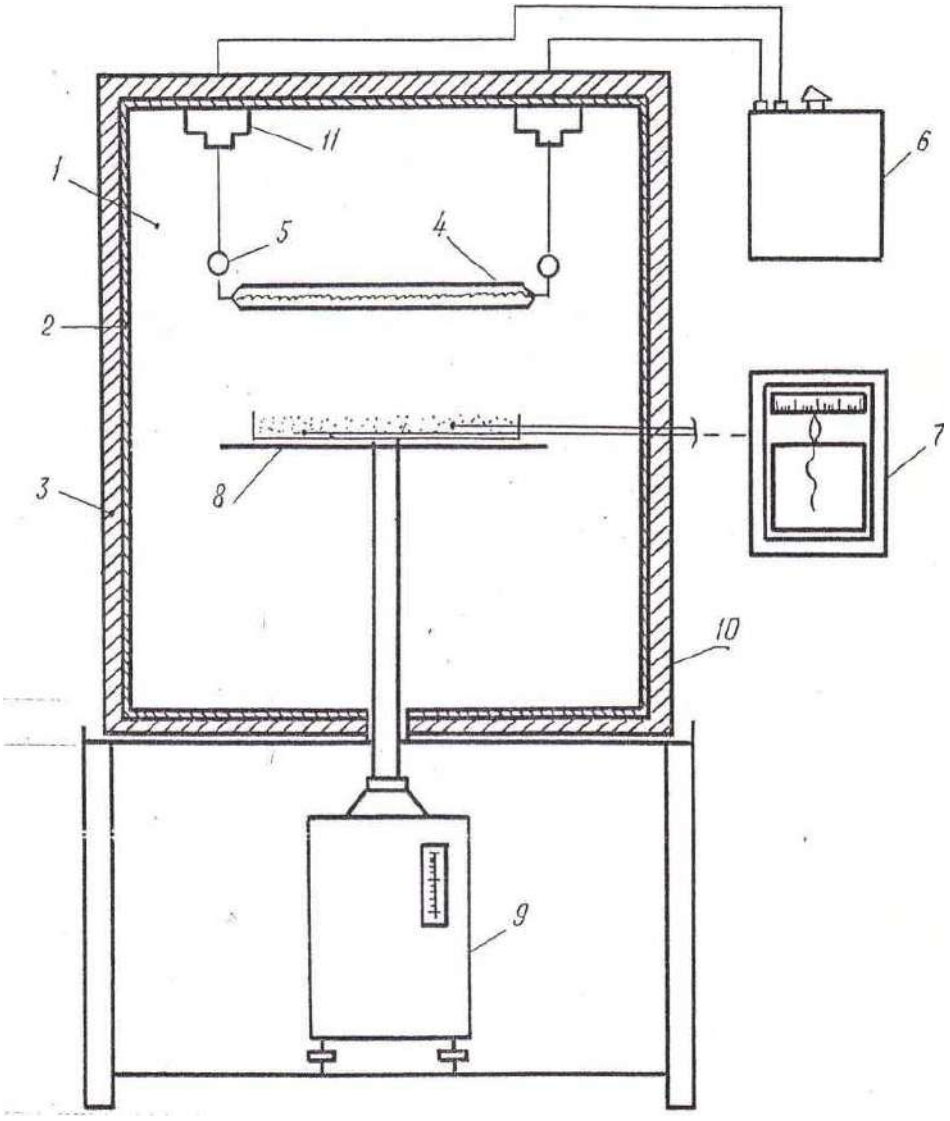


Рис. 3.2. Схема лабораторного пресса

3.2.Методика проведения экспериментов ИК-жарения мятки семян хлопчатника

Эксперименты были проведены на экспериментальной установке, приведенной на рис. 3.1.

Для контроля значений физических параметров были использованы контрольно-измерительные приборы, предварительно прошедшие проверку:

1.Термопара с градуировкой ХК.

2.Автоматический потенциометр типа КСП-4.

3.Тепловой датчик для измерения мощности теплового потока типа.

4.Секундомер.

5.Аналитические весы типа ВЛКТ-500М.

6.Прибор для определения температуры вспышки нефтепродуктов типа ПВНЗ с электричесим нагревом в закрытом типе.

Для проведения экспериментов использовали мятку, взятую на Бухарском и Каганском МЭЗах. Эксперименты проводились поэтапно в следующей последовательности .

Этап I - подготовительный:

а)определяли масличность и начальную влажность мятки по известной методике;

б)расчетный путем определяли количество воды, добавляемой для доведения начальной влажности до 12 %. Известно, что оптимальная влажность лежит в пределах 12 %;

в)согласно технологической инструкции мятки после разбавления водой выдерживается в специальной герметической камере в течение 48 ч. Это необходимо для равномерного распределения влаги по всему объему мятки.

Этап 2 - проведение ИК-обработки мятки семян хлопчатника:

а)отмеренная на аналитических весах порция мятки (30 г) укладывается равномерным слоем на лабораторный лоток. Толщина слоя мятки устанавливается планом проведения эксперимента;

б)включаются ИК-излучатели экспериментальной установки;

в)согласно плану экспериментов устанавливается мощность теплового потока. Дискретная регулировка мощностью осуществляется путем включения соответствующего количества ИК-излучателей, плавная регулировка - изменением расстояния между ИК-излучателя- ми и обрабатываемым продуктом;

г)определяется масса мятки вместе с лотком;

д)лоток с отмеренной и уложенной порцией помещается в экспериментальную ИК-установку, секундомером засекается время начала

обработки.

С истечением времени обработки согласно плановому заданию лоток с обработанной мягкой снимается.

Этап 3 - снятие результатов эксперимента :

а) обработанная мягка охлаждается до 35°С;

б) измеряется температура и масса обработанной мятки;

в) температура экстрабензина доводится до 35°С;

г) отмеренная порция растворителя в объеме 70 мл перемешивается с отмеренной и обработанной порцией мятки;

д) процесс экстрагирования продолжается 60 мин;

е) мисцелла путем фильтрования отделяется от экстрагированной мятки (шрота);

ж) измеряется количество полученной мисцеллы;

з) экстракционный бензин удаляется выпариванием до получения стандартного масла по температуре вспышки;

и) определяется масса полученного масла;

к) определяются качественные показатели полученного масла - кислотное число, цветность согласно методике из /40/.

Все полученные экспериментальные результаты заносятся в журнал наблюдений.

Эксперименты проводятся по указанной методике путем рандомизации в трехкратной повторности для каждого варианта плана эксперимента.

3.3.Исследование процесса термообработки мятки семян на экспериментальной установке

Процесс жарения мятки хлопковых семян-один из основных и необходимих этапов получения хлопкового масла путем прессования. От процесса жарения во многом зависит качество извлекаемого масла и шрота. Однако существуют факторы, влияющие на протекание процесса жарения:

плотность теплового потока с максимальной длиной волны излучения $\lambda = 1{,}1$ мкм, толщина слоя обрабатываемого материала и продолжительность обработки. Влияние их на процесс термообработки мятки семян хлопчатника исследовано на экспериментальной ИК-установке. (см. рис. 3.1).

Для экспериментов используется мятка, увлажненная по известной методике из [40] . Порция мятки массой 100 г устанавливается на поддон с определенной толщиной при включенных ИК-лампах, засекается время.

Процесс термообработки мятки семян хлопчатника изучался при воздействии коротковолнового инфракрасного излучения-ИК-генераторов типа КГ-200-1000, рекомендованных в [4, 24, 40, 41, 44, 47] при максимальной длине волны излучения $\lambda = 1{,}1$ мкм. Изменив плотность теплового потока в процессе термообработки, определяем выход черного масла и его качественные показатели. Как видно из табл. 3.3.1, с увеличением плотности теплового потока от $q = 4{,}8$ кВт/м^2 уменьшается выход черного масла, возрастает кислотное число, отрицательно влияющее на выход рафинированного масла.

Таблица 3.3.1.

Зависимость выхода черного масла								
От длины волны излучения								
λ[мкм]	0,5	0,7	0,85	1,0	1,15	1,25	1,3	1,5
$\mathcal{Y}$[Гр]	1,5	2,5	3,1	3,2	3,5	3,1	2,4	1,7
От плотности теплового потока								
q[кВт/м^2]	3,0	3,8	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0
$\mathcal{Y}$[Гр]	2,2	2,6	3,3	3,95	4,4	4,2	4,1	3,8
От толщины слоя обрабатываемого материала при одностороннем облучении								
δ[мм]	8	10	12	14	15	16	18	20
$\mathcal{Y}$[Гр]	1,2	2	2,8	3,7	3,9	3,8	3	1,7

При двустороннем облучении								
δ[мм]	8	10	12	15	18	22	25	30
$\mathcal{Y}$[Гр]	1,4	2,3	3,1	3,7	4,1	4,8	4,6	3,9

При уменьшении плотности теплового потока продолжительность процесса термообработки удлиняется, кислотное число увеличивается, в нижних слоях обрабатываемой мятки качество термовлагообработки ухудшается(недожарка).

При увеличении толщины слоя обрабатываемого материала более 15 мм прослеживается недожарка в нижних слоях, что снижает выход прессового черного масла и повышает масличность жмыха, в результате затрудняется процесс экстракции. Это объясняется тем, что излучение не проникает в мякоть в нижних слоях, термовлагообработка происходит за счет теплопроводности слоя. При увелечении времени термообработки верхние слои пережариваются. Вместе с тем изменение плотности теплового потока и толщина слоя влияет на влажность (рис. 3.3, 3.4) и температуру (рис. 3.5, 3.6) обрабатываемого материала в процессе термообработки(жарения).

Таким образом, под воздействием ИК-лучей происходит интенсивное проникновение влаги во внутрь клеток маслосодержащего материала, нагревание материала и частичное испарение влаги, разрушение маслосодержащих клеток материала приводит к раскрытию пор материала, благодаря чему значительно возрастает его экстрагируемость.

3.4. Экспериментальное исследование влияния ИК-жарения мятки хлопковых семян на продолжительность экстракции

Влияние ИК-жарения на продолжительность экстракции определяют в следующей последовательности:

а) отбор проб мятки. Для экспериментов использовали мятку семян 1 сорта масличностью 24%, отобранную на Бухарском масло-экстракционном заводе. Масличность мятки 40%, влажность 8,5÷10,5% . Пробы мятки отбирали

ручным способом, доводили до навески 500 г для анализа.

б) обработка мятки. Устанавливается тепловой поток $q = 4{,}8$ кВт/м^2, время обработки $\tau = 10$ мин, толщина слоя мятки $\delta = 22$ мм. Из установки вынимают продукт влаготепловой обработки мятки в жаровне, называемый мезгой. Остаточная влажность мятки, прошедшей ИК-обработку, составляет 4,5÷5%. Отдельно после ИК-обработки продукта и после обработки в жаровне отбирают по 30 г мезги, помещают в колбу на 250 мл, обливают 150 мл экстракционного бензина и тщательно перемещивают.

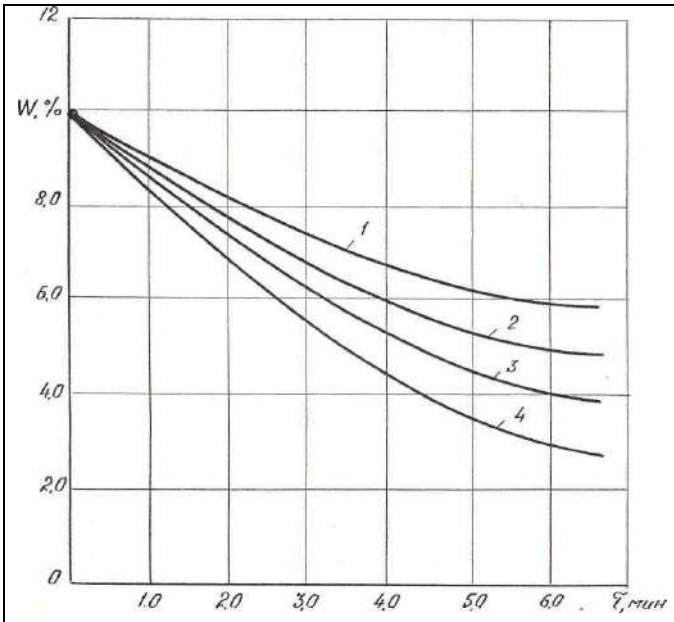


Рис.3.3. Изменение влажности мятки во времени при $\delta = const = 22$ мм : $1 - q =$ 3,3 кВт/м^2 , $2 - q = 3{,}9$ кВт/м^2 , $3 - q = 4{,}8$ кВт/м^2 , $4 - q = 6{,}0$ кВт/м^2

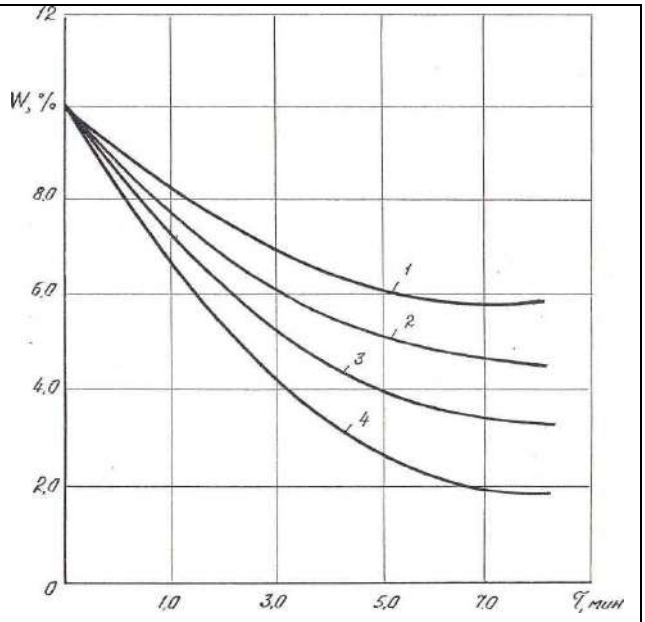


Рис. 3.4. Изменение влажности мятки во времени при $q = const =$ 4,8 кВт/м^2 : $1 - \delta = 30$ мм, $2 - \delta = 25$ мм, $3 - \delta = 20$ мм, $4 - \delta =$ 10 мм

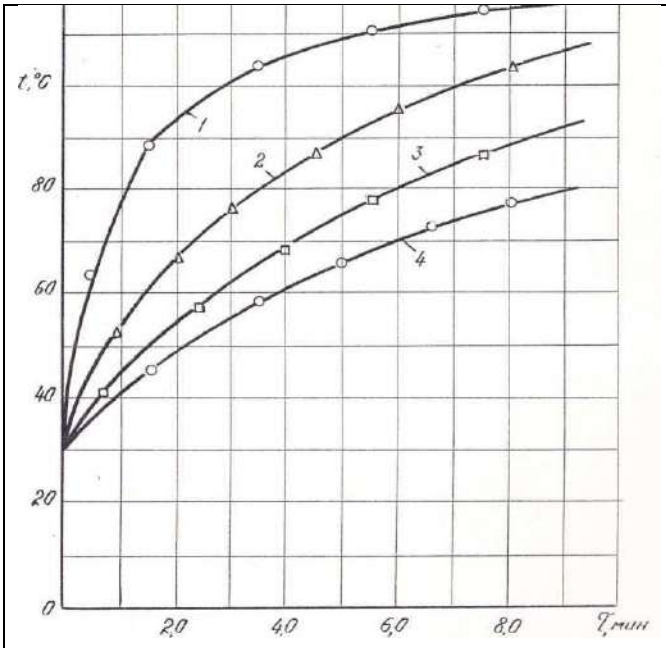


Рис.3.5.Изменение температуры мятки в зависимости от времени ИК-обработки при $q = 4{,}8$ кВт/м^2 $W = 9{,}5\%$ $1 - \delta = 30$ мм, $2 - \delta = 25$ мм, $3 - \delta = 15$ мм, $4 - \delta = 10$ мм

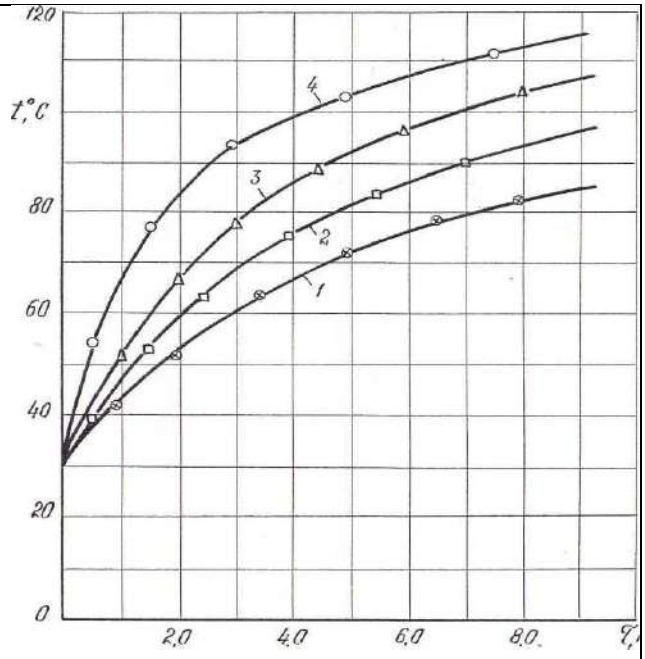


Рис.3.6. Изменение температуры мятки в зависимости от времени ИК-обработки при $\delta = 25$ мм, $W = 9{,}5\%$: $1 - q = 6{,}0 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$, $2 - q = 4{,}8$ кВт/м^2, $3 - q = 3{,}9$ кВт/м^2, $4 - q = 3{,}3$ кВт/м^2

Затем содержимое пересыпают на сито диаметром 0,25 мм и определяют содержание растворителя в продукте, проводят прямую экстракцию в 8 колбах (4 колбы для мезги после ИК-обработки и 4 колбы для мезги из жаровни). Процесс экстракции проводится при изотермических условиях. Перед обработкой каждую колбу нумеруют и обозначают продолжительность экстракции:

I ж, I ИК-колбы- $\tau = 30$ мин;

II ж, II ИК-колбы- $\tau = 1$ ч;

III ж, III ИК-колбы- $\tau = 1{,}5$ ч;

IV ж, IV ИК-колбы- $\tau = 2$ ч.

По истечении времени экстракции поочередно из каждой колбы отбирают мисцеллу и остаток шрота, определяют его масличность. Эксперименты проводят трехкратно, берут среднее значение. Полученные данные заносят в сравнительную табл. 3.3.2;

в)анализ полученных результатов.

Таблица 3.3.2.

Существующий способ жарения			ИК-жарение мятки		
Продолжи-тельность экстракции, мин	Убавление масла в материале		Продолжи-тельность экстракции, мин	Убавление масла в материале	
	г	%		г	%
0	39,0	100	0	39,0	100
30	31,7	81,3	30	25,0	64,1
60	28,4	72,8	60	24,1	61,6
90	24,8	63,6	80	23,9	61,3
120	24,0	61,5	100	23,8	61,0
150	23,8	61,0	120	23,8	61,0

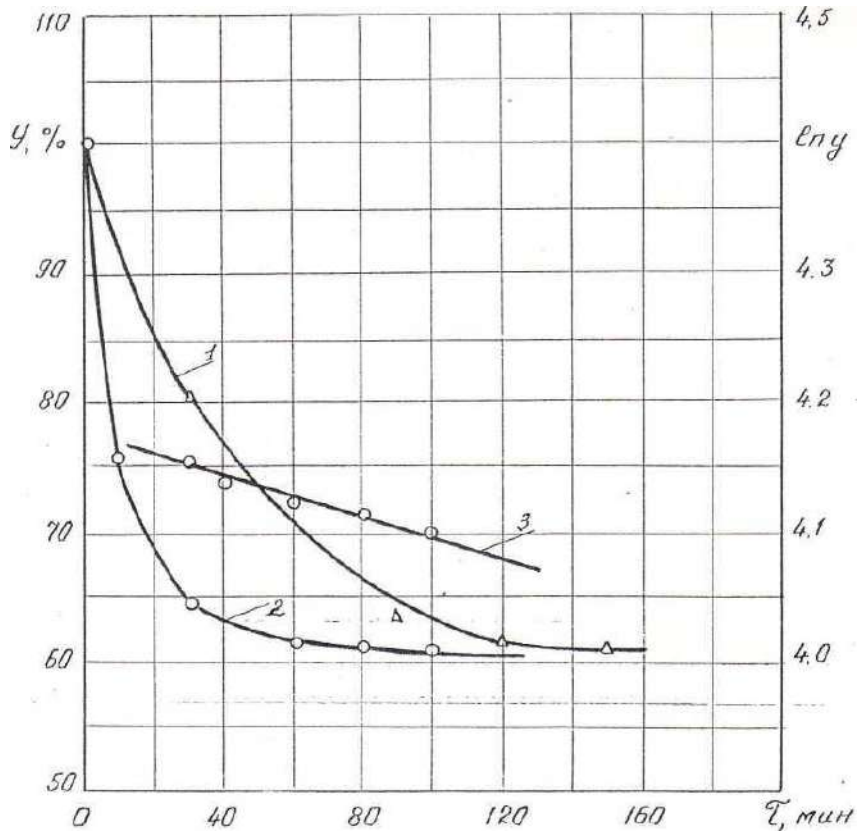


Рис. 3.7. Кривые экстрагируемости мятки при традиционном (I) и ИК-жарении (2) мятки (математическое описание 3)

На рис. 3.7 показано, что мятка, в 6-чанной жаровне традиционным способом, экстрагируется до полного извлечения масла в течении 150 мин. Мятка, подготовленная ИК-жарением, экстрагируется намного быстрее. Так в первом случае за 30 мин экстракции извлекается 18,7 % (при 40 % масличности мятки), во втором-35,9 %. Чтобы извлечь 39 % масла, в первом случае продолжителность экстрагирования достигает 150 мин, во втором-100 мин.

Математическое описание влияния ИК-жарения на продолжительность экстракции дается по формуле.

$$y = 79{,}9216 \cdot e^{-0{,}00367\tau}$$

Таким образом, под воздействием ИК-лучей происходит интенсивное проникновение влаги во внутрь клеток маслосодержащего материала, нагревание материала и частичное испарение влаги, разрушение маслосодержащих клеток материала приводит к раскрытию пор материала, благодаря чему значительно возрастает его экстрагируемость. Также, при ИК-

жарении мятки, как и при существующем способе, обеспечивается полное экстрагирование масла, процесс экстрагирования сокращается в 1,5 раза.

3.5. Исследование влияния ИК-жарения мятки семян хлопчатника на качественные показатели масла и шрота

К основным показателям, характеризующим качество хлопкового масла и шрота, относятся кислотное число, цветность масла и содержание госсипола в шроте. В ходе исследования процесса ИК-жарения мятки семян хлопчатника нами определено влияние этих факторов на качество извлекаемого масла и шрота. Другие факторы, влияющие на качество масла и шрота (сортность семян, процесс хранения и пр.), считают начальными показателями. Как указывается в [37], обработка продуктов ИК-лучами оказывает положительное действие на их качество.

Результаты анализа качественных показателей масла, получаемого путем ИК-жарения мятки и прессования в лабораторных условиях приведены на рис. 3.8 -3,10.

Математические описания влияния упомянутых факторов на процесс ИК-жарения в зависимости от времени даст возможность определить качество конечных продуктов.

Мятка семян хлопчатника - многокомпонентный материал, в процессе жарения изменение качества происходит на молекулярном уровне, в связи с чем аналитическое описание изменений в настоящее время невозможно.

В некоторых случаях выбор типа эмпирической формулы может быть произведен на основе теоретических представлений о характере изучаемой зависимости или об изменении измеряемых величин.

Для описания математической модели изменения качественных показателей масла и шрота используем метод наименьших квадратов. Для определения численных значений коэффициентов в выбранной эмпирической формуле, проверяем возможность её использования методом выравнивания.

Затем переходим к отысканию тех значений постоянных коэффициентов, которые дадут наилучшее приближение вычисленных величин.

Обработка экспериментальных данных, изменения кислотного числа в зависимости от времени позволяет осуществить выравнивание путем логарифмирования (рис. 3.8, кривая 2).

Как видно из графика, экспериментальные точки укладываются на прямую линию и описываются формулой

$$y = a \cdot e^{b\tau} \qquad (3.2)$$

После получения значений коэффициентов a и b формула изменения кислотного числа масла примет вид

$$y = 1.86641 \cdot e^{0.0964259\tau} \qquad (3.3)$$

Формулы, описывающие остальные качественные показатели масла и шрота, аналогичны формуле (3.2) :

для цветности масла

$$y = -0{,}0058679\tau^2 + 3{,}33682\tau - 0{,}909528; \qquad (3.4)$$

для содержания госсипола в шроте

$$y = 49{,}0314 \cdot e^{-0{,}0387225} \qquad (3.5)$$

На рис. 3.8 изображена кривая изменения кислотного числа масла. Установлено, что изменение этого показателя зависит только от температуры материала и его продолжительности процесса не зависимо от подвода энергии.

Чтобы изучить влияние ИК-обработки на кислотное число масла, время обработки мятки на ИК-установке увеличили до 12 мин. При продолжительности обработки 10,5 мин этот показатель равнялся 4,12 мг КОН, при испарении мятки традиционным способом - 4,6 мг КОН, т.е. при ИК-жарении кислотное число уменьшается на 0,48 мг КОН за счет сокращения продолжительности термообработки.

Известно, что начальная кислотность семян колеблется в пределах 1,6

÷4,2 мг КОН. Кислотное число получаемого масла зависит от сорта семян (ж. I).

На рис. 3.9 показано изменение содержания свободного госсипола в жмыхе. По ГОСТу 13979.II-83, оно должно быть менее 0,02 % общей массы жмыха в перерасчете на абсолютно сухое вещество. Из ж. 2 видно, что при ИК-жарении в жмыхе остается 0,03 % свободного госсипола, что недопустимо. Объясняется это тем, что в лабораторной установке процесс жарения производится в периодическом режиме при низких температурах (85 - 90°С). Переход свободного госсипола в масло обуславливается длительностью обработки мятки при температуре 100 - 105°С, что отрицательно влияет на кислотное число (см. ж. 2).

На рис.3.10 отражено изменение цветности нерафинированного масла в I см слое (в красных единицах) в зависимости от времени обработки в ИК-установке. Норма цветности для нерафинированного масла высшего сорта предусматривает 16 красных единиц при 35 желтых, для масла I и II сортов не нормируется. При существующем способе цветность масла не просматривается.

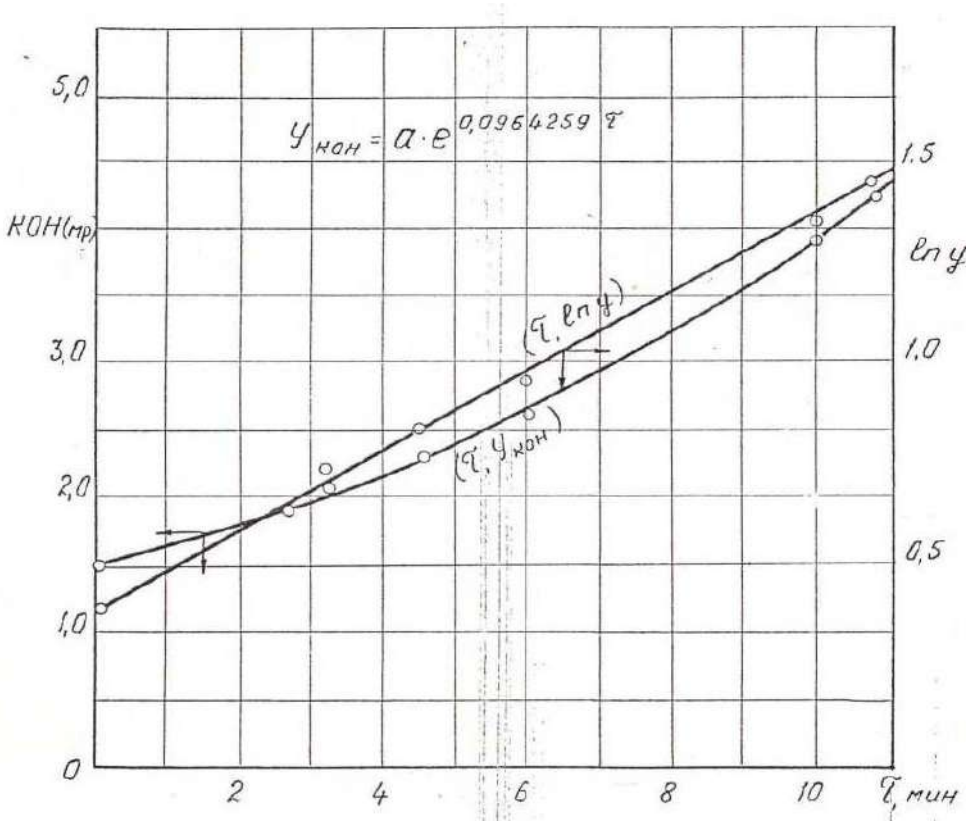


Рис. 3.8. Изменение кислотного числа в зависимости от продолжительности обработки

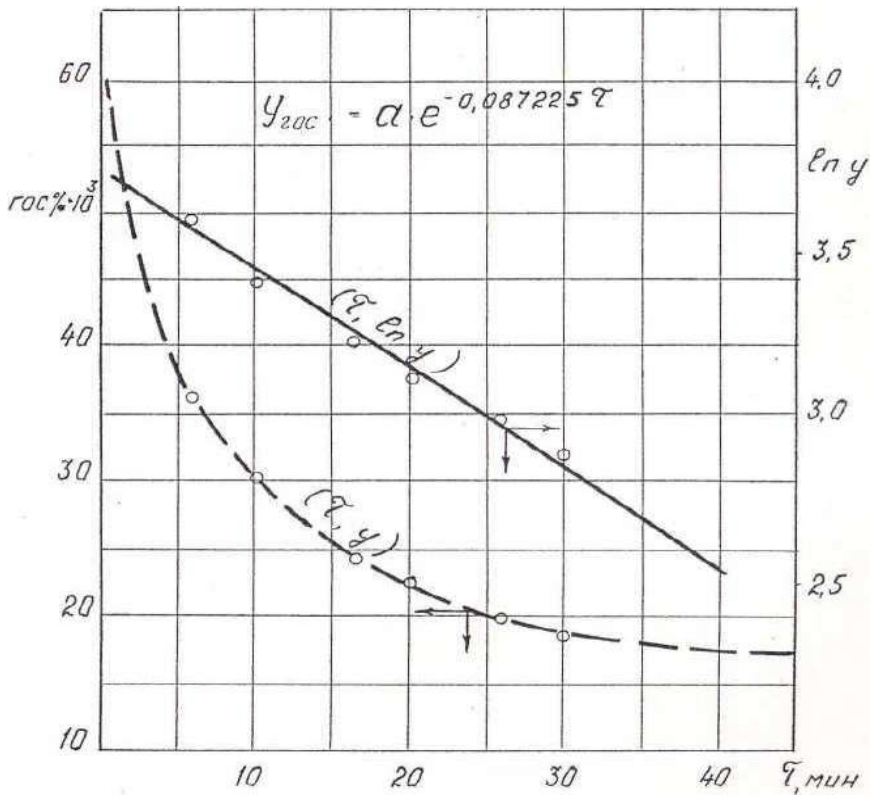


Рис. 3.9. Изменение содержания свободного госсипола в жмихе в зависимости от продолжительности обработки

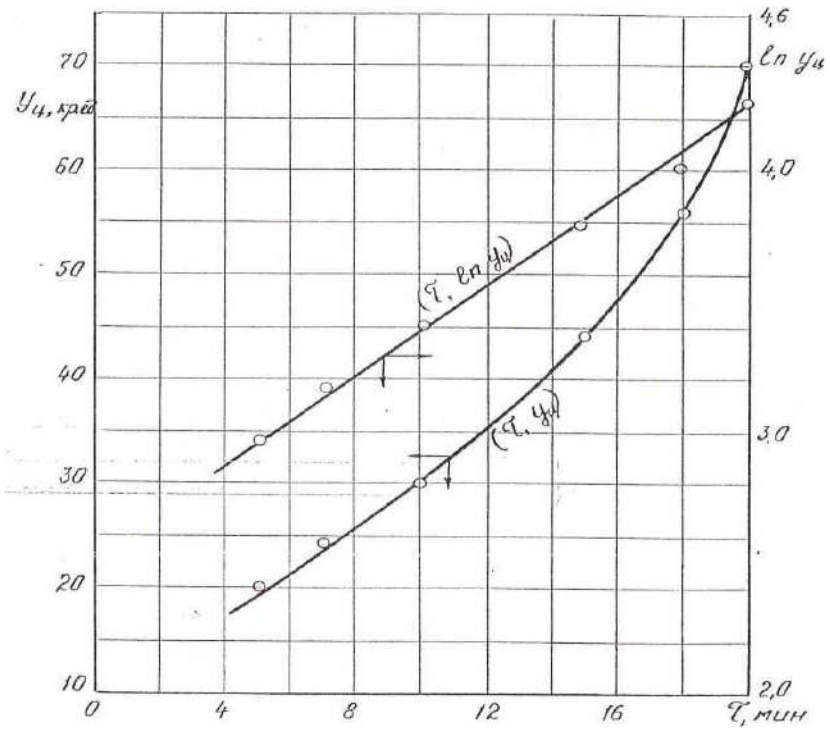


Рис. 3.10. Изменение цветности нерафинированного масла, полученного ИК-жарением мятки

Масло, полученное путем жарения в лабораторной ИК-установке, светло-коричневого цвета, т.е. значительно светлее, чем масло заводского образца. Цветность масла согласно лабораторному анализу составляет всего 30 красных единиц. Это согласно норме цветности масла намного лучше сорта черного хлопкового масла (см. ж. I).

3.6. Планирование экспериментов

Любой технологический процесс зависит от большого числа факторов. Выбор самых активных определяет эффективность исследуемого процесса.

Существуют метода математического планирования многофакторных экспериментов (метод случайного баланса, метод "перевала" и др.), которые в рамках компактного исследования путем довольно сложной обработки экспериментальных данных позволяют расположить исследуемые факторы в порядке убывания их влияния на процесс.

Для уменьшения числа опытов в исследованиях процесса тепло- и массообмена масличных материалов целесообразно применять план второго

порядка, реализующий идею композиционного планирования. Суть её состоит в том, что сначала осуществляют план ПФЭ-2, затем, если полученное уравнение не может быть признано адекватным, добавляют к этому плану некоторое количество специальным образом расположенных "звездных" точек и опыт в центре эксперимента.

Для получения описания процесса ИК-жарения в виде квадратичного уравнения

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_2x_3 + b_6x_1x_3 + b_7x_1^2 + b_8x_2^2 + b_9x_3^2 \quad (3.6)$$

составили композиционно-ортогональный план второго порядка для трех факторов:

x_3 - плотность теплового потока в пределах q = 1,7 ÷ 7,97 кВт/м^2;

x_1 – продолжительность жарения в пределах τ = 120 ÷ 403 *с;*

x_2- толщина слоя δ = 8 ÷ 20 мм.

Эксперименты проводили в нескольких повторностях и получали усредненные значения.

Для исключения временного дрейфера произвели рондомизацию вариантов серии экспериментов.

План проведения экспериментов и усредненные результата приведены в табл. 3.4.1.

Полученные экспериментальные результаты необходимы для состав ления статистической математической модели процесса ИК-жарения.

Таблица 3.4.1

№	Продолжи-тельность обработки с	Толщина слоя Мм	Плотность теплового потока,	Усредненные значения		
				Y вых, %	Y тем, 1^0C	Y влаж. %
1	-	-	-	54,91	69,66	9,22
2	-	+	-	60,35	53,33	10,55

3	+	-	-	55,44	95,00	6,77
4	+	+	-	71,93	94,33	7,00
5	-	-	+	68,60	87,66	6,55
6	-	+	+	61,40	68,00	8,11
7	+	-	+	87,54	120,33	1,95
8	+	+	+	82,46	109,33	2,33
9	-R	0	0	52,63	62,00	10,11
10	+ R	0	0	70,18	93,00	6,89
11	0	-R	0	70,18	89,66	8,33
12	0	+ R	0	68,42	71,66	8,88
13	0	0	-R	58,42	65,00	10,89
14	0	0	+ R	70,18	134,00	6,11
15	0	0	0	58,42	83,66	10,05

3.7. Обработка результатов экспериментов и построение статистической математической модели процесса ИК-жарения

Для получения регрессионных уравнений зависимости выхода масла и влажности продукта от продолжительности процесса, толщины слоя и интенсивности теплового потока значения выхода масла и влажности выражения в процентах.

Проверяя однородность дисперсий, по методике, описанной в [13], рассчитывали критерий Кохрена для выхода масла, температуры и влажности по программам, составленным на алгоритмическом языке ФОРТРАН-4 и *BASIC,*

1.Программа для ввода результатов экспериментов.

2. Программа для расчета средне арифметических значений температуры, влажности и выхода масла, значения выборочных дисперсий, максимальное значение выборочных дисперсий, суммарное значение выборочных дисперсий и критерия Кохрена.

Результаты экспериментов, полученные решением программы II, приведены в ж. 3. Критерий Кохрена для температуры составляет *G* - 0,2257; для влажности *G* = 0,2997; для выхода масла *G* = 0,2582.

Воспользовавшись таблицей, приведенной в [40], определяем критическое значение критерия Кохрена при числе степеней свободы i = 2, числе дисперсий 15 и уровне значимости 0,05.

Поскольку расчетные значения критерия Кохрена для температуры, влажности и выхода масла меньше, чем критическое значение, дисперсии однородны и, следовательно, измерения в экспериментах произведены правильно.

Программа для определения коэффициента уравнения регрессии.

Используя стандартную программу метода наименьших квадратов *LLSQ*, производили статистическую обработку результатов экспериментов и получали коэффициенты регрессионного уравнения для выхода масла.

Уравнение регрессии для выхода масла имеет вид

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_2x_3 + b_6x_1x_3 + b_7x_1^2 + b_8x_2^2 + b_9x_3^2 \quad (4.7)$$

Погрешность регрессионного уравнения проверяли по критерию Фишера в интервале продолжительности процесса 2÷6 мин, толщине слоя обрабатываемой мятки 10 ÷ 22 мм, интенсивности теплового потока 3,42÷8 кВт/м^2

Обработав результаты эксперимента, построили статистическую математическую модель процесса ИК-жарения, которая описывается в виде системы уравнений

$$Y_t = 101{,}99 + 2{,}82x_1 - 3{,}41x_2 - 11{,}67x_3 + 0{,}18x_1x_2 - 0{,}06x_2x_3 + 0{,}78x_1x_3 - 0{,}2x_1^2 + 0{,}05x_2^2 + 1{,}95x_3^2$$

$$Y_w = -15 + 4{,}01x_1 + 2{,}22x_2 + 1{,}95x_3 - 0{,}03x_1x_2 + 0{,}07x_2x_3 - 0{,}19x_1x_3 - 0{,}44x_1^2 - 0{,}05x_2^2 - 0{,}23x_3^2$$

$$Y_{\text{вых}} = 99{,}57 - 6{,}22x_1 - 5{,}65x_2 + 1{,}2x_3 + 0{,}1x_1x_2 + 0{,}35x_2x_3 - 0{,}22x_1x_3 +$$

$0{,}69x_1^2 + 0{,}23x_2^2 + 0{,}57x_3^2$ (3.8)

Расчетные значения, полученные решением системы уравнений (3.8) и экспериментальные результаты приведены в ж. 3.

3.8. Оптимизация процесса термообработки мятки семян хлопчатника

Для решения оптимальных задач применяют в основном:

1. Метода исследования функций классического анализа.
2. Методы, основанные на использовании непосредственных множителей Лагранжа.
3. Вариационное исчисление.
4. Динамическое программирование.
5. Принцип максимума.
6. Линейное программирование.
7. Нелинейное программирование.

Как правило, нельзя рекомендовать какой-либо один метод для решения всех без исключения задач, возникает на практике. Наилучший путь выбора метода оптимизации, наиболее пригодного для решения соответствующей задачи - исследование возможностей применения различных методов оптимизации.

Методы нелинейного программирования применяют для решения оптимальных задач с нелинейными функциями цели. В методы нелинейного программирования объединяется большая группа численных методов, многие из которых приспособлены для решения оптимальных задач соответствующего класса. Ряд методов нелинейного программирования практически постоянно используется в сочетании с другими методами оптимизации, например с методом сканирования в динамическом программировании.

Метод сканирования заключается в последовательном просмотре

критерия оптимальности в ряде точек, принадлежащих области изменения независимых переменных, и нахождении среди этих точек такой, в которой критерий оптимальности имеет максимальное (минимальное) значение. Точность метода, естественно, определяется тем, насколько «густо» располагаются выбранные точки в допустимой области изменения независимых переменных.

Основное достоинство метода сканирования в том, что использование с достаточно «густым» расположением исследуемых точек всегда гарантирует отыскание глобального оптимума, так как анализируется вся область изменения независимых переменных.

Недостатки других методов (градиентные метода) оптимизации состоят в том, что все они «застревают» в ближайшем локальном оптимуме, в область “притяжения” которого попадает выбранная начальная точка спуска. В отличие от этих методов метод сканирования никак не связан с локальным оптимумом целевой функции [6].

В связи с этим для оптимизации процесса ИК-жарения мятки семян хлопчатника нами выбран метод сканирования.

Определение оптимальных значений факторов, влияющий на процесс ИК-жарения

ыбирая критерий оптимальности ИК-жарения, выход масла - функцию цели можно выразить в неявном виде

$$Y_{\text{вых.масла}} = f(\tau, \delta, q) \rightarrow Y_{\text{вых.масла макс.}}$$

Для нахождения максимального значения функции цели задано первое ограничение в виде уравнения статистической математической модели ИК-жарения

$$Y = 99{,}57 - 6{,}22x_1 - 5{,}65x_2 + 1{,}21x_3 + 0{,}1x_1x_2 - 0{,}35x_2x_3 + 0{,}22x_1x_3 + 0{,}69x_1^2 + 0{,}24x_2^2 + 0{,}58x_3^2 \quad (3.9)$$

Другие ограничения заданы исходя из техно логических требований к процессу

жарения мятки в виде равенства,, определяющих область изменения технологических параметров

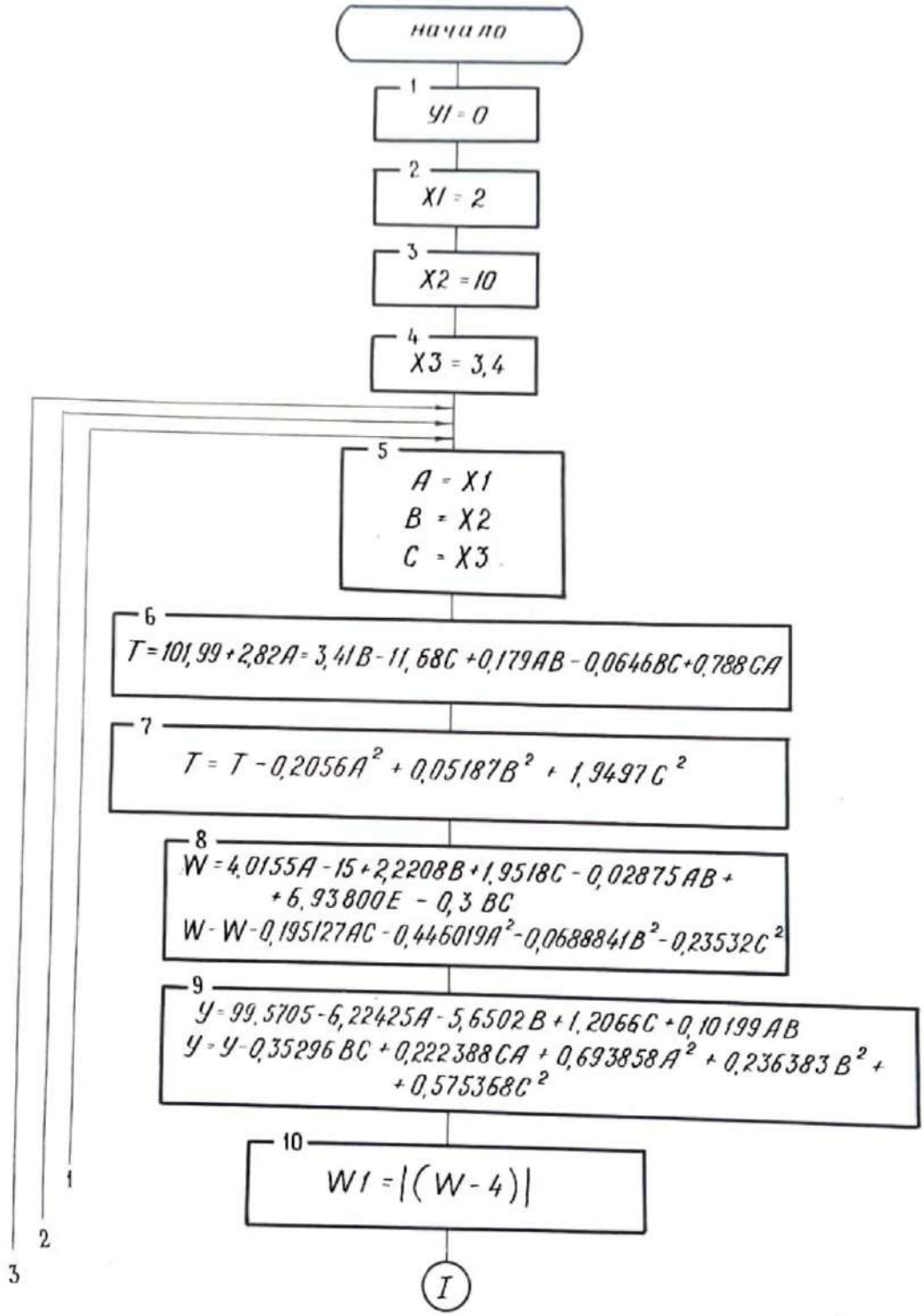
$$95 \geq T \geq 85; \qquad 5 \geq W \geq 3$$

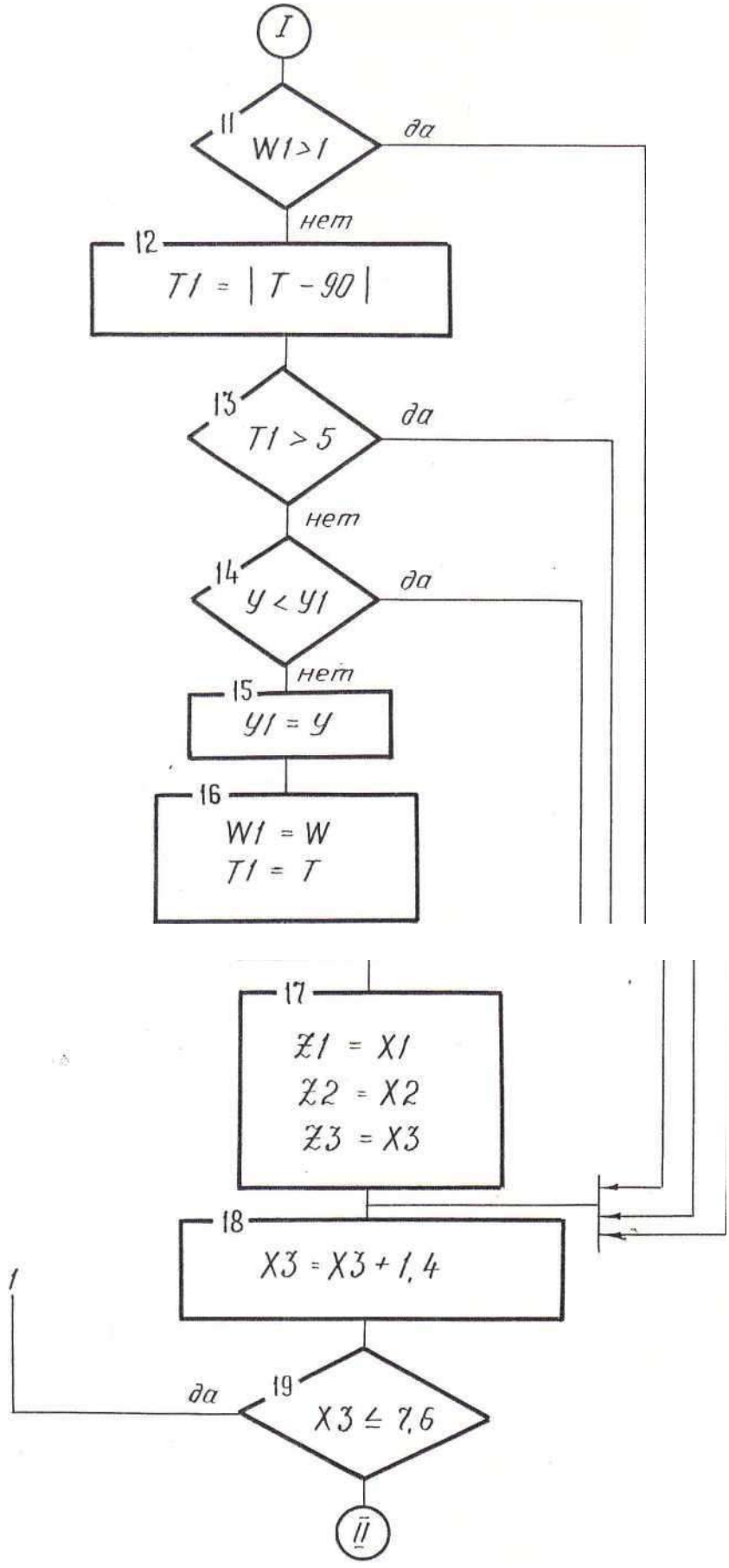
Максимальное значение функции цели найдено известным поисковым методом оптимизации - методом сканирования [6, 30, 33].

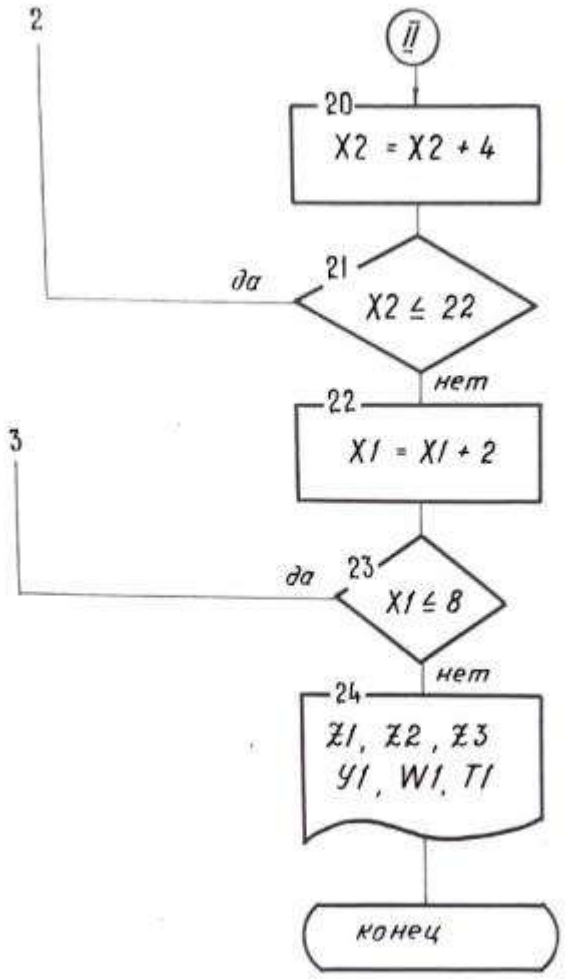
Нормальный ход процесса жарения зависит от оптимальных параметров, влияющих на процесс.

Для определения оптимальных значений факторов, влияющих на процесс ИК-жарения, составлена программа (см. ж. 4), решение которой указано в блок-схеме (рис. 3,11).

Блоки 1-4. Задаются начальные значения факторов, влияющий на процесс (температуру, влажность и выход масла).


начало
1
Y1 = 0
2
X1 = 2
3
X2 = 10
4
X3 = 3,4
5
A = X1
B = X2
C = X3
6
T = 101,99 + 2,82A - 3,41B - 11,68C + 0,179AB - 0,0646BC + 0,788CA
7
T = T - 0,2056A² + 0,05187B² + 1,9497C²
8
W = 4,0155A - 15 + 2,2208B + 1,9518C - 0,02875AB +
+ 6,93800E - 0,3BC
W = W - 0,195127AC - 0,446019A² - 0,0688841B² - 0,23532C²
9
Y = 99,5705 - 6,22425A - 5,6502B + 1,2066C + 0,10199AB
Y = Y - 0,35296BC + 0,222388CA + 0,693858A² + 0,236383B² +
+ 0,575368C²
10
W1 = |(W - 4)|
I
1
2
3


I
11
W1>1
да
нет
12
T1 = | T - 90 |
13
T1 > 5
да
нет
14
y < y1
да
нет
15
y1 = y
16
W1 = W
T1 = T
17
Z1 = X1
Z2 = X2
Z3 = X3
18
X3 = X3 + 1,4
1
да
19
X3 ≤ 7,6
II



3.11.Блок-схема алгоритма оптимизации процесса ИК-жарения

Блок 5. Значения x_1, x_2, x_3 присваиваются соответственно *A, B, C.*

Блоки 6-9. Рассчитываются значения температуры, влажности и выхода масла подстановкой факторов, влияющий на процесс по соответствующим регрессионным уравнениям (3.3).

Блок 10. Определяется абсолютное отклонение влажности от требуемого значения.

Блок 11. Если $W_1 > 1$, то расчет продолжают в блоке 18, в противном случае, переходят к блоку 12.

Блок 12. Определяются абсолютные отклонения температуры от требуемого значения.

Блок 13. Если $T_1 > 5$, то расчет продолжают в блоке 18, в противном случае переходят к блоку 14.

Блок 14. Если значение *У* меньше предыдущего, то расчет продолжают в блоке 18, если значение *У* больше предыдущего, то переходят к блоку 15.

Блоки 15, 16. Принимают новые значения, т.е. $У_1 = У$, $W_1 = W$, $T_1 = T$.

Блок 17. Значения x_1, x_2, x_3 присваивают Z_1, Z_2, Z_3.

Блок 18. К предыдущему значению x_3 прибавляют 1,4.

Блок 19. Если $x_3 \leq 22$, то расчет продолжают в блоке 5, в противном случае переходят к блоку 22.

Блок 20. К предыдущему значению прибавляют 4.

Блок 21. Если $x_2 \leq 22$, то расчет продолжают в блоке 5, в противном случае переходят к блоку 22.

Блок 22. К предыдущему значению прибавляют 2.

Блок 23. Если $x_1 \leq 8$, то расчет продолжают в блоке 5, в противном случае переходят к блоку 24.

Блок 24. Выводят на печать найденные значения.

В результате решения программы при W= 8,5 ÷ 10,5 %, t = 88 ÷ 95°0 определены :

-оптимальная продолжительность процесса τ = 6 мин; |

-оптимальная толщина слоя обрабатываемого материала, δ = 22 мм;

-оптимальная интенсивность теплового потока q= 4,8 кВт/м^2.

Оптимальные параметры τ, δ, q необходим для расчета теплового и материального баланса и конструктивных размеров ИК- жаровни.

ГЛАВА 4. МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА АППАРАТА ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ МЯТКИ СЕМЯН ХЛОПЧАТНИКА

Обработка маслосодержащих материалов инфракрасными лучами производится путем направленного воздействия потока лучей на продукт, расположенный в слое, толщина которого зависит от терморадиационных свойств материала. Конструктивное оформление аппаратов, в которых слой продукта подводится в поле инфракрасного облучения, можно выполнить непрерывным и периодически действующим. Поскольку термообработка маслосодержащих материалов при использовании ИК-излучателей происходит в 7-8 раз интенсивнее по сравнению с существующими методами, то неэффективно конструировать ИК-аппараты периодического действия. Непрерывные аппараты можно выполнить конвейерными (ленточные, скребковые, шнековые, пластинчатые и карусельные).

Методика расчета ИК-установки для термообработки мятки семян хлопчатника соответствует выбранной функциональной схеме аппарата.

Ниже приводим методику инженерного расчета ИК-жаровни с скребковым транспортирующим органом.

4.1. Разработка и оформление полупромышленного аппарата

4.1.1.Конструкция и принцип работы ИК-жаровни

Полупромышленная установка для инфракрасного жарения, изображенная на рис. 4.1 – 4.3 состоит из привода, скребкового цепного конвейера, каркаса жаровни, блока инфракрасных излучателей, устройство для регулирования толщины слоя материала и пульта управления работой установки.

Каркас ИК-жаровни - это коробчатая единая конструкция длиной l м, сваренная из листовой стали толщиной 2-3 мм и угольников.

Металлоконструкция выполнена в двухярусном исполнении. Нижняя часть ярусов, где перемещается обрабатываемый материал, выполнена в виде плоского пода. По краям последнего приварены угольники, служащие направляющим для тягового органа.

На верхнем ярусе предусмотрены вентиляционные люки. Для крепления блоков ИК-излучателей в верхней части ярусов посредством фарфоровых изоляторов установлены токопроводящие шины. Одна из боковых сторон каркаса имеет дверцы на шарнирах, открывая их можно произвести монтаж ИК-излучателей или наблюдать за их состоянием при наладке и пуске жаровни. Скребковый цепной конвейер ИК-жаровни предназначен для последовательного перемещения сырья сплошным слоем через всю длину ИК-облучения гак в верхнем, так и нижнем ярусах каркаса и не имеет холостую ветвь благодаря конструктивному исполнению скребков. Конвейер состоит из четырех осей с насаженными на них по две звездочки, двух бесконечно втулочно-роликовых цепей, которые являются тяговым элементом, и перева-лочных низких скребков. Обе ветви цепи скользят (движутся) по направляющим, выполненным из равнобокого угольника 25 х 25, приваренного к каркасу. Скребки выполнены в виде плоского листа длиной 550 мм и высотой 50 мм, приваренного к трубке. Трубка свободно вращается вокруг оси и присоединяется в цепям с помощью пальцев. При переходе цепи из верхнего яруса в нижний тлеющиеся в ней скребки меняют свое положение (нижние кромки окажутся верхними, а верхние - нижними). Постоянное вертикальное состояние скребков обеспечивается полуизогнутой проволокой, образующей закрытый контур. Проволока закрепляется к осям, присоединенным к цепи за каждым предыдущим скребком. Расстояние между скребками равно 12 шагам цепи. Натяжение тяговой цепи осуществляется при помощи винта.

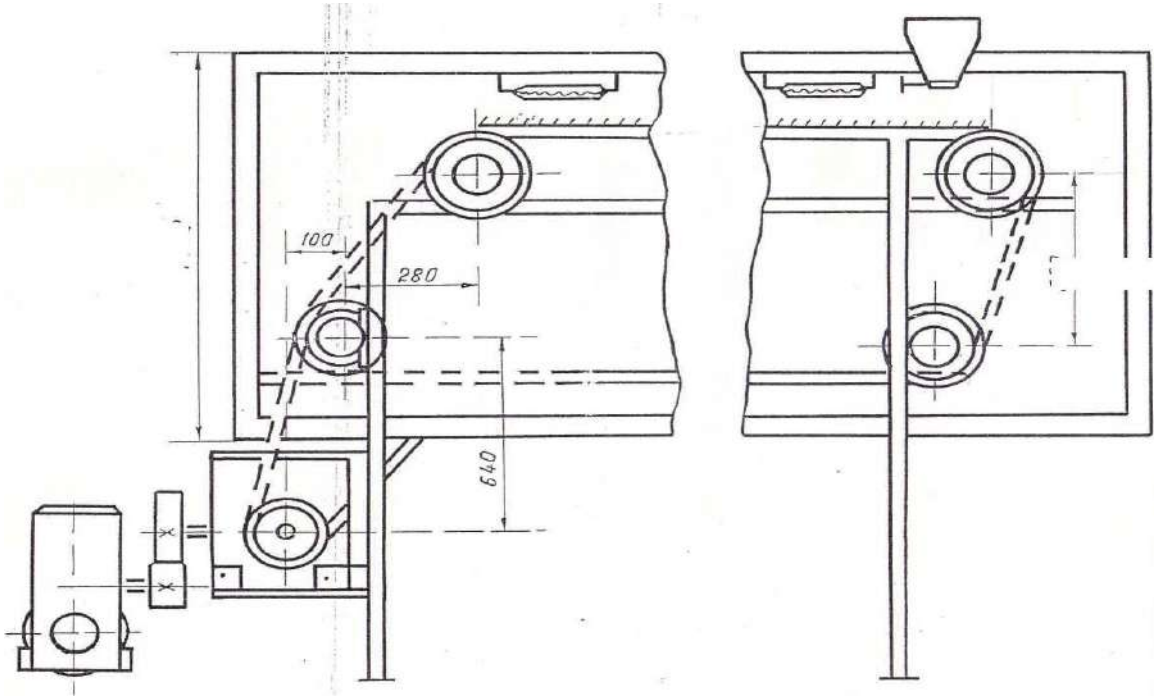


Рис 4.1. Принципиальная схема полупромышленной ИК-установки

Увлажненная мятка (согласно технологическому регламенту) из распределительного шнека через течку с шибером поступает в загрузочную зону полупромышленной ИК-жаровни. Она охватывается скребками конвейера и через планку, регулирующую толщину слоя материала, подвигается к зоне обработки. Здесь мятка, передвигаясь по конвейеру, в течение 5-6 мин подвергается предварительной тепловой обработке ИК-лучами из ламп типа КГТ-220-1000. Выходя из зоны ИК-облучения, материал через щель падает в нижний ярус. При этом в слое материала происходит естественное перемешивание, что создает благоприятное условие для равномерного нагрева всей массы обрабатываемого материала.

Далее пленкой устанавливается толщина сырья и скребками передвигается к зоне окончательной тепловой обработки в нижнем ярусе ИК-жаровни. Процесс здесь длится также 5-6 мин. Мятка, прошедшая интенсивную тепловую обработку в ИК-жаровне, через направляющие течки поступает в пресс для извлечения масла.

Испарившаяся при жарении влага удаляется из рабочей камеры через

вентиляционные .люки.

Для максимального извлечения масла из материала прессом обработанная в ИК-жаровне мятка должна иметь влажность 4,0 - 4,5 % и температуру 90 - 95°С.

4.1.2.Расчет конструктивных размеров

При проектировании ИК-установки для термообработки мятки семян хлопчатника производительностью 24000 кг/сутки с применением инфракрасного облучения выполняется следующее:

1.Экспериментальным путем определяется толщина слоя обрабатываемого материала, по которой после кратковременной тепловой обработки в инфракрасном теплоподводе обеспечивается максимальный съем масла.

2. При транспортировке сыпучих материалов с помощью скребков появляется угол естественного наклона, для уменьшения которого принят шаг скребков 0,4.

3. Производительность установки выбрана 1000 кг/ч с учетом производительности прессов, эксплуатируемых в производстве. Рабочая ширина ИК-установки принята B - 1,0 м согласно размерам выбранных ИК-излучателей.

Определяем длину камеры ИК-установки по формуле

$$l_k = \frac{\text{П}\,\tau_{\text{об}}}{\text{КВ}\delta\rho\varphi 60}, \text{м}$$

где $П$ - производительность ИК-установки, кг/сут.;

$\tau_{\text{об}}$ −продолжительность обработки, τ = 6 мин;

K- количество ярусов;

δ - толщина слоя обрабатываемого материала, м;

ρ - плотность мятки семян хлопчатника, кг/м^3;

B - ширина аппарата, м;

φ - коэффициент трения маслосодержащих материалов (0,8- 0,9).

Подставив конкретные значения параметров, получим

$$l_k = \frac{1000 \cdot 6}{2 \cdot 1 \cdot 0{,}022 \cdot 500 \cdot 0{,}8 \cdot 60} = 5{,}68 \text{ м} \quad (4.2)$$

Общая длина ИК-установки определяется по формуле

$$l_{\text{общ}} = l_k + l_{\text{зач}} + l_{\text{раз}} \quad (4.3)$$

где $l_{\text{зач}}$ - длина загрузочной зоны, м;

$l_{\text{раз}}$ - длина разгрузочной зоны, м;

l_k - длина рабочей камеры, м; $l_k = 5{,}68$ м;

$$l_{\text{общ}} = 5{,}68 + 0{,}5 + 0{,}5 = 6{,}68 \text{ м} \quad (4.4)$$

Высота ярусов ИК-установки вычисляется по формуле

$$\text{H}_{u.y.} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5; \quad (4.5)$$

здесь h_1, h_2 расстояние от излучателей до обрабатываемого продукта, м;

h_3, h_4 - расстояние от экранирующих поверхностей до излучателей, м;

h_5 - расстояние от основания, м.

Исходя из найденных в предыдущей главе оптимальных параметров режима термообработки экспериментальным путем определено относительное расположение ИК-излучателей в установке:

$$h_1 = h_2 = 0{,}35 \text{ м}; \quad h_3 = h_4 = 0{,}1 \text{ м}; \quad h_5 = 0{,}2 \text{ м}; \quad (4.6)$$

При этом высота первого яруса в ИК-установке составляет

$$H_{\text{п.я.}} = h_1 + h_3 = 0{,}35 + 0{,}1 = 0{,}45 \text{ м}; \quad (4.7)$$

высота второго яруса

$$H_{\text{в.я.}} = h_2 + h_4 = 0{,}35 + 0{,}1 = 0{,}45 \text{ м}; \quad (4.8)$$

общая высота ИК-установки

$$H_{\text{и.у.}} = H_{\text{п.я.}} + H_{\text{в.я.}} + h_5 = 0{,}45 + 0{,}45 + 0{,}2 = 1{,}1 \text{ м}$$

(4.8)

4.2.Тепловой баланс и расчет конструктивных размеров аппарата

Цель теплового расчета ИК-жаровни - определение потребной мощности ИК-нагревателей для обеспечения необходимой интенсивности теплового потока при заданной производительности установки.

Чтобы определить потребное количество электроэнергии, составляют тепловой баланс. При этом выделяют такую составную часть мезги, масса которой в течение всего процесса не изменяется. Такой неизменной частью является сухое жирное вещество её.

I. Расход тепла на нагрев вентиляционного воздуха проходящего через рабочую зону, может быть определен по формуле

$$Q_{\text{н.в.}} = \frac{W_{\text{исп}}}{d_{\text{пс}} - d_{\text{в}}} C_p (t'_{\text{вв}} - t_{\text{в}}), \qquad (4.10)$$

где $W_{\text{исп}}$- количество испаренной влаги;

$d_{\text{пс}}$ - содержание парогазовой смеси при температуре и относительной влажности в сечении;

C_p - удельная теплоемкость воздуха, принжлаемая при расчетах 1 кДж/кг·К;

$d_{\text{в}}$- влагосодержание наружного воздуха, %;

$t_{вв}$ - температура внутреннего воздуха, °С;

$t_{в}$ - температура наружного воздуха, °С.

2. Расход тепла на нагрев транспортных приспособлений

$$Q_{\text{н.т.}} = g_{\text{ц}} \cdot c_{\text{м}} \left(t''_{\text{ц}} - t'_{\text{ц}}\right) + g_{\text{с}} \cdot c_{\text{м}} (t''_{c} - t'_{c}), \qquad (4.11)$$

где $Q_{\text{н.т.}}$- расход тепла на нагрев транспортных приспособлений, кДж;

$g_{\text{ц}}$, $g_{\text{с}}$ − масса металла цепей и скребка, кг;

$t'_{\text{ц}}$, $t'_{\text{с}}$ - температура транспортных приспособлений при входе в камеру, °С;

$c_{\text{м}}$- удельная теплоемкость металла цепей и скребка, кДж/ /(кг·К);

$t_ц''$, $t_с''$ – температура транспортных приспособлений при выходе из камеры, °С.

3. Потери тепла в окружающую среду наружными поверхностями ограждений рабочей зоны

$$Q_{о.с} = \alpha \cdot f(t_п - t_b) + 5{,}7 \cdot a_{пр} \cdot f_п[(0.01T_п)^4 - (0.01T_b)^4] \quad (4.12)$$

где α - коэффициент конвективной теплоотдачи наружной поверхности ограждений, Вт/м^2 ·К;

f_n - поверхность ограждения ИК-установки, м^2;

$t_п, T_п$ – температура поверхности ограждения, °С;

t_b , T_b - температура воздуха в цехе, условно принимаемая как температура воздуха на расстоянии 1 м от поверхности, °С;

$a_{пр}$ - приведенная степень черноты системы поверхности ограждений.

Коэффициент теплоотдачи для вертикальных стен определяется критерием Гросгофа и числом Нуссельта

$$G_ч = \frac{l^3 g \Delta t \beta}{\nu^2} \quad (4.13)$$

где l - высота ИК-установки, м;

Δt - разность температуры, °С;

ν = 16,7 · 10^6 при температуре t = 35 - 80 °С.

Коэффициент конвективной теплоотдачи от верхних стен

$$\alpha^{верт} = N_4 \frac{\lambda}{l} \quad (4.14)$$

где λ - коэффициент теплопроводности воздуха при t = 35°С,

λ = 0,0261 Вт/м·к

Теплоотдача вертикальными поверхностями ИК-установки

$$Q_{верт} = f_{верт}\{a_{пр}[(0.01T_п)^4 - (0.01T_b)^4] + \alpha^{верт}(t_п - t_в)\} \quad (4.15)$$

$$\alpha^{верт} = В \cdot l \cdot (t_c - t_в) \cdot d\tau \quad (4.16)$$

5. Потери тепла по всей поверхности

$$Q_{\text{п}} = \sum k \cdot F \cdot \Delta t_{ср} / u \qquad (4.17)$$

где F- площадь поверхности ИК-установки, м^2 ;

k - общий коэффициент теплопередачи участка ограждений, Вт/м^2 ·К;

$\Delta t_{ср}$ - средняя разность температуры, °С; $\Delta t = t_{ср} - t_{\text{в}}$;

$t_{ср}$ - средняя температура в каглере, °С;

$t_{\text{в}}$ - температура воздуха в помещении, °С.

Общий коэффициент теплопередачи

$$k = 1/(1/\alpha_1 + \sum \delta_{\text{п}}/\lambda_{\text{п}} + 1/\alpha_2) \qquad (4.18)$$

где α_1 - коэффициент теплопередачи среда камеры к внутренней поверхности стенки ограждения, Вт/м^2·К;

α_2 - коэффициент теплопередачи от наружной поверхности стенки ограждений к окружающему воздуху, Вт/м^2·К;

$\delta_{\text{п}}$ - толщина отдельных слоев, из которых состоит ограждение;

$\lambda_{\text{п}}$ - коэффициент теплопроводности, Вт/м·К.

Учитывая тепловые потери во всех поверхностях ИК-установки, получаем уравнение вида

$$Q_{\text{огр}} = k \cdot P(t_{ср} - t_{\text{в}}) \qquad (4.19)$$

$$Q_{\text{огр}} = 1{,}74 \cdot 10(250 - 20) = 4002 \text{ Вт}$$

Отдача энергии (теплота) нагреваемым материалом в окружающее пространство составляет

$$dQ_T = \alpha_{\text{общ}}(t_{\text{м}} - t_{\text{в.к}}) \cdot F(d\tau) \qquad (4.20)$$

$$Q_T = 20(80 - 70) \cdot 10 \cdot 6 = 12000 \text{ Вт}$$

Уравнение теплового баланса с учетом потери энергии (теплоты) нагреваемым материалом в окружающем пространстве, а также облучения для слоя материала массой m , теплоемкостью запишется в виде

$$Q_{\text{общ}} = V_m(d\tau) \cdot C_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{м}} + dQ_{\text{пот}} + Q_{\text{огр}} = 100 \cdot 0.42 \cdot 500 + 12000 + 4002 =$$

37000 Вт (4.21

$$Q_{\text{общ}} = 37 \text{ кВт}$$

5.3.Анализ результатов исследования ИК-термообработки мятки семян хлопчатника в полу- промышленной установке (ИК-жаровне)

4.3. Анализ результатов исследования ИК-термообработки мятки семян хлопчатника в полупромышленной ИК-установке

Согласно заключению центральной лаборатории Каганского маслоэкстракционного завода о результатах анализа качественных показателей хлопкового нерафинированного масла, полученного ИК-жарением мятки с последующим прессованием по ОСТ 18-285-76 (ж. 5), можно отметить отличительные свойства масла, полученного этим способом.

Масло, полученное ИК-жарением мятки, имеет приятный запах, свойственный нерафинированному хлопковому маслу без постороннего запаха (см. ж. 5).

Цветность масла в 1 см слое в красных единицах при 35 желтых составила 39,2 ед. при 58,9 ед. при существующем способе, цветность же масла, получаемого существующим способам на Бухарском маслоэкстракционном заводе, вообще не просматривается. Улучшение цветности на 19,7 ед., т.е. соответствует черному нерафинированному маслу 1 сорта, значит намного улучшается рафинация масла.

Кислотное число масла высшего сорта составляет 4 мг КОН, 1 сорта - 7, II сорта - 14 мг КОН. При жарении мятки на полупромышленной ИК-жаровне оно равно 4,52. При этом выход рафинированного масла увеличивается на 1 %,

Количество нежировых примесей при существующем методе увеличивается до 0,36 %, для высшего, I и II сортов оно должно составлять 0,1; 0,2 и 0,3 % в связи с тем, что ИК-обработка способствует раскрытию связок каротина, углеводов и других веществ, впоследствии они переходят в масло.

После рафинации они сохраняются в масле, не влияют на его качество, имеют питательную ценность.

Влага и летучие вещества составляют 0,31 % против 0,23 % при существующем методе, а по норме для высшего, I и II сортов должны составлять 0,2 ÷ 0,3 %, Повышение влажности масла на 0,01 % объясняется тем, что для осуществления ИК-жарения мятки её влажность специально доводится до 12 %, поэтому из-за обилия влаги часть её переходит в тело.

Йодное число масла составляет III на 100 г масла против 107 при существующем способе, для стандартных масел лежит в пределах 101-116.

Количество неомыляемых веществ сокращается на 0,26 % (для стандартных масел составляет 1,5 %) ввиду того, что время термической обработки сокращается до 8 мин и эти вещества остаются в жмыхе в связанной форме.

Анализ качественных показателей жмыха, полученного обработкой мятки в полупромышленной ИК-установке (жаровне) с последующим прессованием (ж. 6), проведенный согласно заключению на Каганском маслоэкстракционном заводе выявил его отличия от жмыха, полученного обычным способом.

Цвет жмыха, полученного ИК-жарением, желтый, соответствует требованиям 1 сорта. Вследствие сокращения времени термической обработки до 6 мин сохраняются в естественном состоянии многие белковые вещества, следовательно, используемый для откорма животных шрот содержит повышенное количество протеина и других питательных веществ.

Содержание остаточного масла в жмыхе сокращается до 14,24 % против 15,10 % при существующем способе жарения мятки, т.е. намного улучшается процесс экстрагирования жмыха, уменьшаются

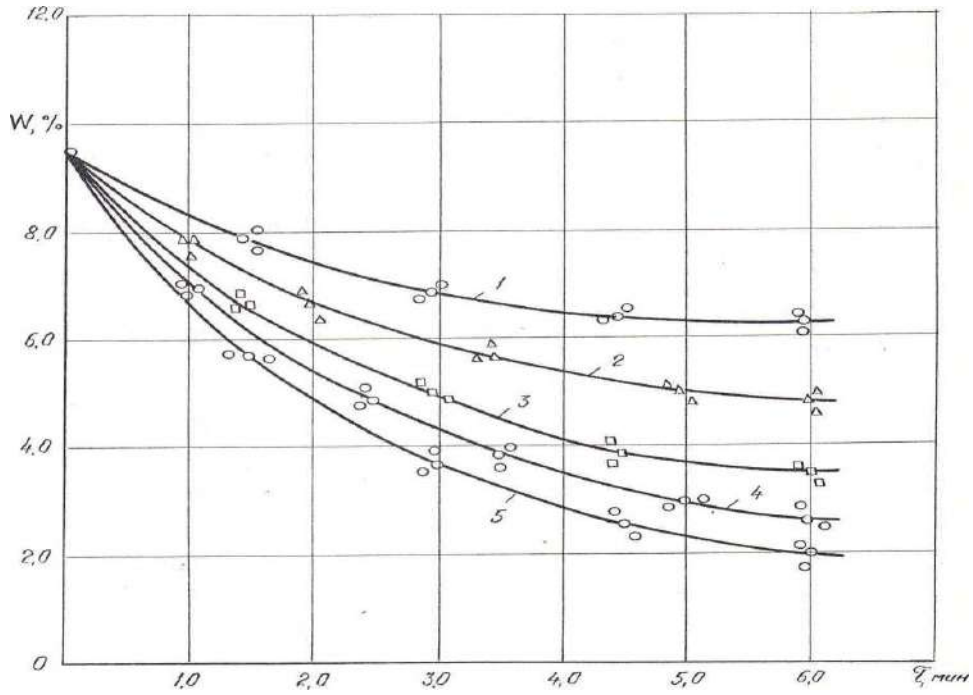


Рис. 4.4. Кривые изменения влажности мятки по времени в зависимости от толщины слоя:

$1-\delta = 30$ мм, $2-\delta = 25$ мм, $3-\delta = 20$ мм, $4-\delta = 15$ мм, $5-\delta = 10$ мм

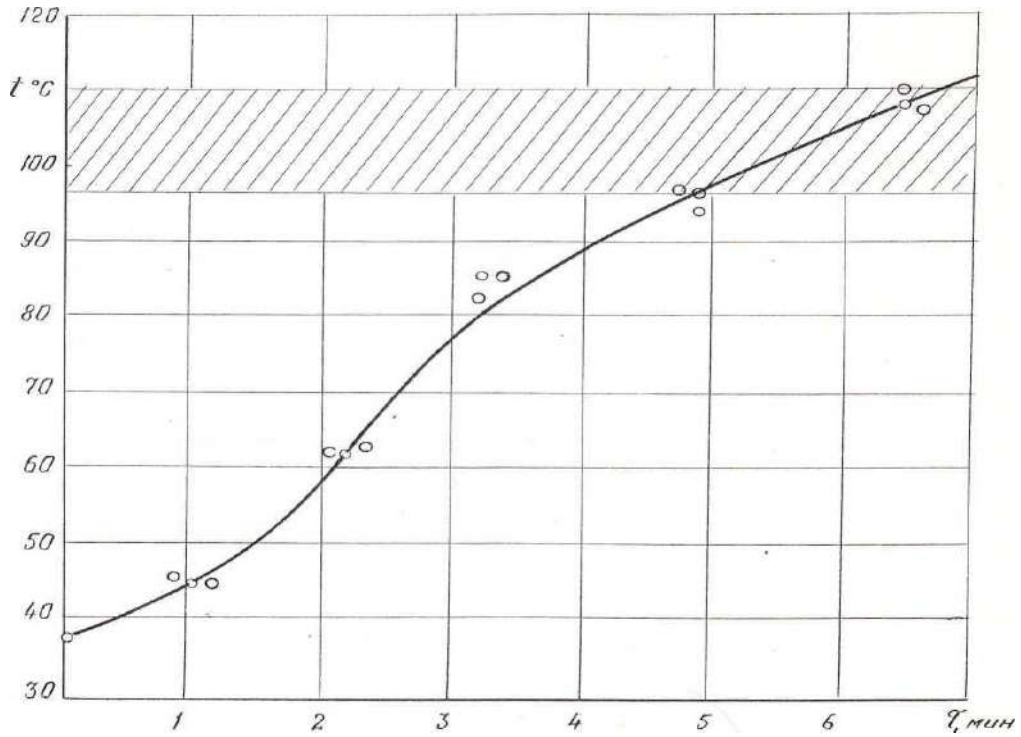


Рис. 4.5. Зависимость изменения температуры мятки семян хлопчатника от времени при начальной влажности $W_{\text{н}} = 9.5\,\%$, толщине слоя $\delta = 22$ мм, плотности теплового потока $q = 4{,}8\,\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$ нагрузки экстракционного цеха.

Содержание свободного госсипола при ИК-жарении меньше предельно допустимого - 0,02 %

Изменение влажности обрабатываемого материала в процессе ИК-жарения при различной толщине слоя мятки показано на рис. 4.4. При ИК-обработке слоя мятки толщиной 20-30 мм в течение 6 мин конечная влажность продукта составляет 3,6 - 5,1 % что обеспечивает максимальный съем масла при прессовании.

Изменение температуры мятки семян хлопчатника в процессе жарения в ИК-установке свидетельствует о готовности обработанного материала к прессованию. Значение температуры в процессе ИК-жарения при выходе из жаровни отвечает требованию нормы технологического режима $t = 90 \div 108°C$ (рис. 4.5).

4.4.Расчет ожидаемого экономического эффективности

Расчет ожидаемого экономического эффекта от совершенствования процесса влаготепловой обработки маслосодержащих материалов производим согласно п. 12 "Методики (основных положений) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений.

(Утверждена постановлением Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике, Госпланом СССР, Академией наук СССР и Государственным комитетом по делам изобретений и открытий от 14 февраля 1977 г. № 48/16/13/3)по формуле

$$Э = (З_1 - З_2)\, А_2, \qquad (4.10)$$

где Э - годовой экономический эффект, руб;

$З_1$, $З_2$ – приведенные затраты продукции, производимой до ж вобле совершенствования процесса влаготепловой обработки маслосодержащих материалов (с помощью базовой и новой техники);

$А_2$ – годовой объем продукции после совершенствования процесса влаготепловой обработки маслосодержащих материалов.

Приведенные затраты представляют собой сумму себестоимости и нормативной прибыли

$$З = C_{п} + С_0 + E_{н}К \quad (4.11)$$

или

$$З = C_{п} + С + E_{н}К \quad (4.12)$$

С - себестоимость единицы продукции, руб;

$C_{п}$ – технологическая себестоимость единицы выпускаемой продукции, которая в процессе интенсификации подвергается изменению, руб;

$С_0$ – постоянная часть себестоимости единицы продукции, зависящая от сорта сырья и не зависящая от работы установки влаготепловой обработки;

К - удельные капитальные вложения в производственные фонды, руб;

$E_{н}$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений равный 0,15.

Обитаемый годовой экономический эффект от совершенствования процесса влаготепловой обработки маслосодержащих материалов складывается из:

- экономического эффекта от снижения затрат на единицу вырабатываемой продукции;
- экономического эффекта от повышения качества получаемого черного масла за счет уменьшения продолжительности процесса влаготепловой обработки;
- экономического эффекта от снижения энергоемкости процесса.

Экономия достигается за счет сокращения расхода пара на единицу вырабатываемой продукции при влаготепловой обработке инфракрасными лучами (при влаготепловой обработке в чанных жаровнях для получения 1 т. черного масла требуется 0,55 т. пара, средняя стоимость выработки 1 т. водяного пара в условиях работы МЭЗ республики составляет 5 руб).

Стоимость 1 кВт электроэнергии равна 0,02 руб.

Таким образом, энергетические расходы для влаготепловой обработки 1 т. мятки семян составляет:

в чанных жаровнях

$$C_{1\,уд} = \frac{(30 \cdot 0.02 + 3.38 \cdot 0.5) \cdot 315 \cdot 24}{945 \cdot 0.62} = \frac{17312{,}4}{58590} = 0{,}295\ руб/т$$

в ИК-установках

$$C_{2\,уд} = \frac{(74 \cdot 0.02 + 6 \cdot 0.02) \cdot 315 \cdot 24}{94500 \cdot 0.62} = \frac{12096}{58590} = 0{,}206\ руб/т$$

В качестве базового аппарата принимаем 6-чанные жаровни, стоимость единицы которых составляет 53250 руб. Капзатраты новой установки влаготепловой обработки равны 5000 х 2 = 1000 руб.

Определяем средние расчетные затраты, сопутствующие капитальным вложениям:

1.Транспортные расходы, принимаемые в размере 3 % стоимости установок:

- для базовой установки *53250 · 0,03 =1597,5 руб.*
- для новой установки *10000 · 0,03 =300 руб.*

2. Расходы на монтаж и демонтаж оборудования принимаем в размере 8 % их стоимости :

- для базовой установки *53250 · 0,03 = 4260 руб.*
- для новой установки *10000 · 0,03 = 300 руб.*

3. Стоимость тары и упаковочных материалов - 2 % стоимости, наценка снабженческо-бытовых организаций 0,4 %.

- для базовой установки *53250 · 0,024 = 1278 руб*
- для новой установки *10000 · 0,024 = 240 руб.*

4. Расходы на приобретение запасных частей - 2 арматуры - 3 % стоимости установок:

- для базовой установки *53250 · 0,05=2662,5 руб.*
- для новой установки *10000 · 0,05 =500 руб.*

Итого сопутствующих капитальных вложений потребителя при

использовании

-базовой установки *9798 руб.*

-новой установки *1840,206 руб.*

Полная стоимость капитальных вложений на внедрение установки влаготепловой обработки включает их стоимость и сопутствующие капитальные вложения при их использовании

-для базовой установки $K_1 = 53250 + 9798 = 63098$ *руб.*

-для новой установки $K_2 = 10000 + 1840,206 = 11840,206$ *руб.*

Баланс рабочего времени маслоэкстракционных заводов следующий: 315 рабочих суток, 22 суток профилактики и 28 суток капитального ремонта. Режим работы основного производства трехсменный по 8 ч. в смену.

Годовой объем перерабатываемой мятки семян на единицу обеих установок

$$A_1 = A_2 = 1,25 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 315 = 9450 \text{ Т/год}$$

Удельные капитальные вложения в производственные фонды :

-для базовой установки

$$K_{1уд} = K_1 / A_1 = 63048 : 9450 = 6,671 \text{ р/т}$$

-для новой установки

$$K_{2уд} = K_2 / A_2 = 11840,206 : 9450 = 1,253 \text{ р/т}$$

Приведенные затраты на выпуск единиц полуфабриката :

-для базовой установки $З_1 = 0,295 + 0,15 \cdot 6,671 \text{ р/Т} = 1,295 \text{ р/т}$

-для новой установки $З_2 = 0,273 + 0,15 \cdot 1,253 \text{ р/Т} = 0,394 \text{ р/т}$

Экономический эффект за счет амартизационных отчислений установки влаготепловой обработки маслосодержащих материалов составляет

$$Э_1 = (1,295 - 0,394) \cdot 9450 = 8514,45 \text{ руб.}$$

Экономический эффект от интенсификации процесса влаготепловой обработки и повышения качества получаемого масла достигается сокращением процесса влаготепловой обработки и температурных режимов ведения

процесса. Влаготепловая обработка в чанных жаровнях производится в течение 50 - 70 мин при температуре 100 - 105 °С, что приводит к ухудшению качества получаемого черного масла. Контактный способ влаготепловой обработки в чанных жаровнях не обеспечивает равномерного раскрытия клеток маслосодержащего материала.

Проведение влаготепловой обработки в установках с инфракрасным обогревом приводит к сокращению продолжительности обработки в 8 - 10 раз, в результате кратковременной тепловой обработки улучшается качество получаемого масла. Интенсивное действие ИК - лучей способствует равномерному раскрытию клеток маслосодержащих материалов.

Средний выход масла из семян хлопчатника на предприятиях МЖП составляет 20 %. Для выработки черного масла основному производству обычно планируется около 70 % общего количества. Стоимость 1 т хлопкового масла колеблется в пределах 720 руб, соапстока - 200 руб.

Для одного МЭЗа мощностью 300 т семян в сутки выработка черного масла определяется

$$B_1=A_1C_1\,(Ц_р - Ц_с)=16740\cdot 0{,}88(720-200)=7660224\ руб.$$

$$B_2=A_2C_2\,(Ц_р - Ц_с)=16740\cdot 0{,}89(720-200)=7747272\ руб.$$

где B_1, B_2 - выработка черного масла соответственно в существующем и предлагаемом способе, руб;

A_1, A_2- выработка черного масла, т/год ;

C_1, C_2 - выход рафинированного масла соответственно в существующем и предлагаемом способе, %

$Ц_р$ - стоимость рафинированного масла, т/руб;

$Ц_с$ - стоимость соапстока, т/руб.

Тогда, экономический эффект за счет увеличения выхода рафинированного масла составляет

$$Э_1 = B_2 - B_1 = 7747272 - 7660224 = 87048\ руб.$$

Таким образом, суммарный ожидаемый годовой экономический эффект

от совершенствования процесса влаготепловой обработки маслосодержащих материалов для одного МЭЗа мощностью 300 т семян в сутки составляет

$$Э_г = Э_1 + Э_2 = 8514,45 + 87048 = 95562,45 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений в производственные фонды

$$T = K_2 : Э_г = 11840,206 : 95562,45 \approx 0,124 \text{ г}$$

Выводы

1. На основе критического анализа существующих способов извлечения растительного масла из маслосодержащих материалов и конструкций промышленных, опытных и экспериментальных установок для осуществления процесса жарения предложен новый терморадиационный способ жарения мятки семян хлопчатника.

2. Изучены теплофизические свойства, термодинамические и терморадиатдионные характеристики мятки семян хлопчатника. Определены отражательная R_λ, пропускательная T_λ и поглощательная способности мятки семян хлопчатника при ИК-облучении.

3. Изучены теоретические основы тепломассопереноса при ИК-обработке мятки семян хлопчатника. Приведены формулы, определяющие отражательные и пропускательные способности маслосодержащих материалов при обработке их в поле электромагнитных волн в ИК-диапазоне. Составлена статистическая математическая модель процесса ИК-жарения, получено уравнение регрессии. Составлена программа на языке ФОРТРАН-4, найдены расчетные, экспериментальные значения температуры, влажности и выхода масла на ЭВМ ДВК-2М. Изучены поля излучения, температуры и влагосодержания при ИК-нагреве мятки семян хлопчатника.

4.Создана экспериментальная ИК-установка для исследования процесса термообработки мятки семян хлопчатника в поле электромагнитных волн в ИК-диапазоне. Разработаны методика и план проведения эксперимента. Экспериментально определены основные факторы, влияющие на процесс термообработки (жарения) мятки семян хлопчатника при ИК-облучении. Определены оптимальные значения таких основных факторов, как T= 89,95°C , W = 4,43%, q = 4,8 кВт/м^2 , δ =22 м, τ = 6 мин.

5. Экспериментально изучено влияние температуры, влажности, продолжительности и плотности теплового потока на качественные показатели растительного масла и шрота в процессе ИК-жарения, Кислотное число уменьшается на 0,48 мг КОН, цветность снижается 5 до 30 красных единиц при

35 желтых, когда цветность масла, полученного традиционным способом, не просматривается, маеличность шрота уменьшается на 1,8 %, количество свободного госсипола в пересчете на абсолютно сухое вещество составляет 0,019 %, сырой протеин в пересчете на абсолютно сухое вещество увеличивается на 2,7 % (40,7 % против 38 % по ГОСТу 13979.3-68). На основе экспериментальных данных предложен способ получения хлопкового масла, защищенный авторским свидетельством СССР.

6. Разработана методика расчета аппарата с инфракрасным энергоподводом для термообработки мятки семян хлопчатника. Создана полупромышленная ИК-установка непрерывного действия для термообработки (жарения) мятки семян хлопчатника. Испытание полупромышленной ИК-жаровни на Каганском маслоэкстракционном заводе подтвердило её эффективность в производственных условиях в сравнении с традиционным методом жарения "глухим" паром в многочанных жаровнях. При этом интенсифицируется процесс дарения в 8 - 9 раз, увеличивается выход форпрессового масла на 8 - 10 %, рафинированного - на 1,5 - 2,5 % энергозатраты уменьшаются на 5 - 9 %, снижается металлоемкость конструкции, улучшаются качественные показатели черного масла, шрота и санитарно-гигиенические условия труда.

Приложение I

Заключение

О результатах анализа качественных показателей масло хлопкового нерафинированного, полученного ИК-жарением мятки с последующим прессованием.

Показатель	Характеристика и норма масла			Существующий способ	Способ ИК-жарения мятки	Примечание
	Высшего сорта	Первого сорта	Второго сорта			
Запах	Свойственный нерафинированного хлопховому маслу без постороннего запаха					
Цветность в 1 см слое, в красных единицах при 35 желтых, не более	16	Не нормируется		Не просмат-ривается	30	
Кислотное число, мг КОН, не более	4	7	14	5,3	4,57	Сорт семян
Нежировые примеси, %, не более	0,1	0,2	0,3	0,62	1,08 (не филтиро-ванная)	Влаж-ность 7,84 %
Йодное число, г на 100 г масла, в переделах	101-116			108	110	
Неомыляемые вещества, %, не более	1,5	1,5	1,5	1,26	1,17	

Приложение II

Заключение

О ре зультатах анализа качественных показателей жмыха по ГОСТу

Показатель	Характеристика		Методы испитания	Существующий способ	Способ ИК-жарения мятки	Примечание
	I сорта	II сорта				
Цвет	От светло-желтого до желтого	От желтого до темно-коричнево-го	По ГОСТу 13979. 4-68	Коричн. соответствует хлопк. жмыху	Желтый соответствует хлопк. жмыху	
Запах	Свойственный хлопковому жмыху, без постороннего запаха, затхлости, плесени		По ГОСТу 13979. 4-68	Соответствует хлопк. жмыху	Соответствует хлопк. жмыху	
Влага и летучие вещества в переделах,%	6,0-8,0	6,0-8,0	По ГОСТу 13979. 1-68	4,55	5,56	
Сырой жир в пересчете на абсолютно сухое вещество, %, не более	7,0 12,0	9,0 14,0	По ГОСТу 13979. 2-68	15,82	14	По регламен-ту заводу
Сырой протеин в пересчете на абсолютно сухое вещество, %, не менее	38,0	30,0	По ГОСТу 13979. 3-68		40,70	
Сырая клетчатка протеин в пересчете на абсолютно сухое вещество, %, не более	12,0	16,0	По ГОСТу 13979. 10-68			
Зола, нерастворимая в, в пересчете на абсолютно сухое вещество, %, не более	2,0	2,0	По ГОСТу 13979. 6-68	0,41	0,36	
Посторонние примеси (камешки, стекло, земля и др.)	Не допускается		По ГОСТу 68-74 пункт 3.2	Отсутст.	Отсутст.	
Металлопримеси (частицы размером до 2 мм включительно), не более	0,01	0,01	По ГОСТу 13979. 6-68	Сл.	Отсутст.	

Частицы размером до 2 мм	Не допускается		По ГОСТу 13979. 6-68		Отсутст.	
Свободный госсипол в пересчете на абсолютно сухое вещество, %, не более	0,02	0,02	По ГОСТу 13979. 11-83	0,18	0,03	
Содержание хлорорганических ядохимикатов, мг/кг, не более гексохлорина	Сл.	1,0	По ГОСТу 68-74 пункт 3.3	0,20	0,20	
Дихлордифенилтрихлор-Этан	Сл.	0,5	По ГОСТу 68-74 пункт 33	Отсутст.	Отсутст.	
Содержание альдрина	Не допускается			Отсутст.	Отсутст.	

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ президента Республики Узбекистан о стратегии действий по дальнейшему развитию республики узбекистан от 7 февралья 2017 года.
2. Аношин И.М. Теоретические основы массообменных процессов пищевых производств. - М.: Пищевая промышленность, 1970. -344 с.
3. Артиков А.А. и др. Системный анализ концентрирования растворов инертным газом. Ташкент : Фан, 1987. -164 с.
4. Артиков А.А., Усманов А.У., Сафаров А.Ф., Маматкулов А.Х. и др. Интенсификация тепло-массообменных процессов маслоэкстракционного производства с использованием новых физических методов обработки и автоматического управления. / Деп. в ВИИНТИ за № гос. регистрации 01.87.0094964. инвент. № 02.88.0002452-М., 1988. -137 с.
5. Базарбаева Д.Ш. Сушка семян хлопчатника при комбинированном энергоподводе: Дис... канд.тех.наук. М.: МТИПП, 1982. -200 с.
6. Баром А.А. Физико-химические основы технологии процесса извлечения веществ из пористых тел // Химическая промышленность, 1964. *Г 2. -62 с*
7. Бояринов А.И., Кафаров в.В. Метода оптимизации в химической технологии. -М.: Химия, 1969. -563 с.
8. Благовещенская М.М. Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. Москва “Вышая школа” 2005
9. Гавриленко И.В. Маслоэкстракционное производство. - М.: Пищепротлиздат, I960.
10. Гавриленко И.В. Оборудования для производства растительных масел. - М.: Пищевая промышленность, 1972. -312 с.
11. Гинзбург А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности. -М.: Пищевая промышленность, 1966. -408 с.
12. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. -М.: Пищевая промышленность, 1973, -528 с.
13. Гинзбург А.С. Технология сушки пищевых продуктов. -М.: Пищевая

промышленность, 1976. -247 с.

14. Гинзбург А.С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. -М Агропромиздат, 1985, -336 с.
15. Гинзбург А.С. и др. Теплофизические характеристики пищевых продуктов и материалов. -М.: Пищевая промышленность, 1975. -223 с.
16. Гинзбург А.С. и др. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. -М.: Пищевая промышленность, 1980. -288 с.
17. Гинзбург А.С., Савина И.М. Массо - влагообменные характеристики пищевых продуктов. -М.: Легкая и пищевая промышленность 1982. -279 с.
18. Голдовский А.М. Теоретические основы производства растительных масел.-М.: Пищепромиздат.
19. Грибкова Г.Н. Исследование оптических свойств зерна и продуктов его переработки. Автореф. дао...канд.тех.наук. -М.: МТИПП, 1973. -25 с.
20. Дадаорта Г.Б. и др. Вода в пищевых продуктах. -М.: Пищевая промышленность, 1980. -376 с.
21. Ильясов С.Г., Красников В.В. Применения метода и одновременного измерения терморадиационных характеристик к исследованию оптических свойств капиллярно-пористых коллоидных тел // Труды МТИПП. М.: 1968. –С. 49-56.
22. Ильясов С.Г., Красников В.В. Классификация пищевых продуктов по оптическим свойствам // Известия вузов. Пищевая технология. 1970. № 4 -С. 21-27.
23. Ильясов С.Г., Красников В.В. Методы определения оптических и терморадиационных характеристик пищевых продуктов. 45.: Пищевая промышленность, 1972. -174 с.
24. Ильясов С.Г., Красников В.В. Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов. 45.: Пищевая промышленность,-358 с.
25. Извлечение и очистка растительного масла. А.С. 213068. Великобритания.

26.Интенсификация процесса термообработки мятки семян хлопчатника. Деп. в УзНИИНТИ I 981-У. 1989. от 03.04.89 // Ежемесячный библиогр. указ. У 6 (212) 41.: 1989. Артиков А.А., Усманов А.У., Сафаров А.Ф.

27.Карпин Е.Б. и др. Автоматизация технологических процессов пищевых производств. 45.: Пищевая промышленность, 1977.-432 С.

28.Кафаров В.В. и др. Принципы математического моделирования химико-технологических систем. М.: Химия, 1974. -344 с.

29.Копейковский В.М., Данильзук С.И., Гарбузова Г.И. и др. Технологии производства растительнқх масел. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.-416 с.

30.Красников В.В. и др. Спектральный лшинесцентный анализ пищевых продуктов. 4L: Агропромиздат, 1987. -288 с.

31.Кушнирев В.И., Лебедев В.И., Павленко В.А. Техническая тер-модинамика и теплопередача. М.: Стройиздат, 1986. -461 с.

32.Левитин И.Б. Применение инфракрасной техники в народном хозяйстве. -Л.: Энергоиздат, 1981. -264 с.

33.Лыков А.В. Теория теплопроводности. -М.: Высшая школа, 1967. -599 с.

34.Остапенко А.М. Воздействие электромагнитных полей на пищевне продукты с целью интенсификации технологических процессов. Научные труды высшего института пищевой и вкусовой про мышленности. Т. 27. НРБ Пловдив, 1978. -С. 61-71.

35.Пономарев В.М. и др. Основы автоматического регулирования и управления. 41.: Высшая школа, 1974. -440 с.

36.Птушкин А.Т. Исследование электрических способов термической обработки бобов какао // Обработка пищевых продуктов излучениями. 1958.

37. Рогов И.А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов. М: Агропромиздат, 1988. -272 с.

38.Рогов И.А. и др. Электрофизические, оптические и акустические характеристики пищевых продуктов. 41. Легкая и пищевая

промышленность, 1981. -288 с.

39. Рогов И.А., Некрутман С.В., СВЧ и ИК-нагрев пищевых продуктов. -М.: Пищевая промышленность, 1976. -212 с.
40. Руководство по методам исследования, техническому контролю и учету

производства в масложировой промышленности. Т. II. -Л.: ВНИИЖ, 1965. - 412 с.

41. Салимов 3. Интенсификация технологических процессов производства растительных масел. -Ташкент: Узбекистан, 981. -266 с.
42. Сергеев и др. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров. Т. I. Кн. I. -Л.: 1974. -598 с.
43. Сергеев А.Г. и др. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров. Т. I. Ул. 2. -Л.: 1974 -591 с.
44. Способ получения хлопкового масла. А.с. 1367471 СССР МКИ А 21 Д 16/10 ДСП / А.А. Артиков, А. Усманов, К. Додаев, А. Маматкулов, 3.3. Салимов, Н. Кучкарова, Ф. Тухтамишев, С. Умаров, 0. Сафаров, Х. Носиров и Н. Парпиев - 3894705/31-13; Заявл. 01.04.85.
45. Тихонов В.П., А.Б.Вишняков Разработка методов получения растительных масел из низкомасличного сырья. Хранение и переработка сельхозсыря-2007, № 3.- 21с.
46. Тютюнников Б.Н. Химия жиров, -м.: Пищевая промышленность, 1974. - 437 с.
47. Усманов А.У., Джураев Х.Ф., Сафаров А.Ф. Термический анализ мятки семян и продукты их переработки / Тез.докл. Республ. научно-практ. конф, молодых ученых и специалистов. -Ташкент : ТашПИ, 1989. -С. 105.
48. Усманов А.У., Маматкулов А.Х., Додаев К.О., Джураев Х.Ф. Оптимизация процесса ИК-жарения мятки семян хлопчатника /Тез.докл. Республ. научно-практ.конф. молодых ученых и специалистов. -Ташкент: ТашПИ, 1988. -С. 3.
49. Усманов А.У., Маматкулов А.Х., Сафаров О.Ф., Джураев Х.Ф. Установка

для жарения мятки семян хлопчатника с электрофизическим методом подвода энергии / Тез.докл. Шестой Все- союзн. научно-технич.конф. "Электрофизические методы обработки пищевых продуктов и сельскохозяйственного сырья". -М.: МИПБ, 1989. -С. 380.

50. Усмонов А.У., Расулов Ш.Х., Адизова М.Р. Исследование процесса термообработки мятки семян на экспериментальной установке/ Universum: Технические науки, научный журнал: выпуск: 2(83), февраль 2021, часть 2. Москва 2021.
51. Устройство для кондиционирования маслосодержащих материалов. Положительное решение о выдаче авторского свидетельства по заявке № 4490565/31-13 от 04.10.89 / А.А. Артиков, Х.Ф. Джураев, Маматкулов АЛ., Додаев К.О., Усманов А.У.и др.
52. Черненко Т.В., Мирзабаева М., Холматов Х., Глушенкова А.И., Умаров А.У. Извлечение масла и госсипола из семян хлопчатника // МЖП. 1977. № 1 -с. 18.
53. Шербаков С.Г. Биохимия и товароведения масличного сырья. -М.: Пищевая промышленность, 1969. -456 с.
54. Шербаков В.Г. Химия и биохимия переработки масличных семян. -М.: Пищевая промышленность, 1977. -167 с.
55. Infrared review. (обзор UK -излучателей)- Ind Gas (USA), 1975, V. 55, № 3.
56. Lanbert j.l. lk -нагрев в производственных процессах nlec. Rev. (Gr.Brit.), 1974, v. 194, № 22.
57. Simpson R.G. Применение ик- нагрева в промышленности.PACE, 1974, 7.27, № 3.
58. Thornton Cotton Oil Press, 18, № 11, 12, 1964.
59. Thornton M.K. Cottonseed Products, fharton. Texas, 1972.
60. Woolrich W.R. The Oil filer and Cotton Ginner. 18, № 3,12, 1933.

А.УСМОНОВ, Ш.РАСУЛОВ, М.АДИЗОВА

"ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЛАГОТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ МЯТКИ СЕМЯН ХЛОПЧАТНИКА"

Монография

РЕДАКТОР: F. Муродов
ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР: З.Бабаева
РЕДАКТОРЫ ИЗДАТЕЛЬСТВА: А.Қаландаров
М.Саидова
КОРРЕКТОР:

Разрешенно для распечатки книг . 25.09.2021. Формат бумаги 60x84 "Times" гарн.. Офсетная печать. На офсетной бумаги.Печатная форма 8. Тираж 100

Заказ № 42. Цена договорная. Бухара ПРЕСС и Управление информацией "BUXORO NASHR" издательство: город Бухара

"YOQUB DOVUD" ООО опубликовано в типографии. город Бухара, Ул. I.Karimov 27 дом
Тел: (0365) 223-95-77

