

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

---

УДК 665.335.

**АКРАМОВ РУСТАМ УКТАМОВИЧ**

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАПРАВЛЕНИИ ЭКСТРАКЦИИ  
РАКУШКИ ХЛОПКОВЫХ СЕМЯН С ВЫСОКИМИ  
ТЕХНОЛОГИЯМИ**

5A321001 – Технология производства и переработки пищевых продуктов  
(Технология производства растительных масел)

**ДИССЕРТАЦИЯ**

**на соискание академической степени магистра**

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор  
К.Х.МАЖИДОВ

**Бухара – 2013**

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>3</b>
<b>Глава 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	<b>8</b>
<i>1.1. Общие понятия о технологии экстракции</i> .....	8
<i>1.2. Теоретические основы процесса экстракции</i> .....	10
<i>1.3. Влияние различных факторов на полноту и скорость         экстракции масла</i> .....	21
<i>1.4. Основные методы и способы экстракции</i> .....	27
<i>1.5. Новые и перспективные способы, аппараты и исследования в         области непрерывной экстракции растительных масел</i> .....	31
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ</b> .....	<b>40</b>
<b>Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЯ, ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....	<b>40</b>
<i>2.1. Характеристика хлопковых семян и продуктов их переработки</i> ....	40
<i>2.2. Техника эксперимента, лабораторные и заводские установки</i> .....	42
<i>2.3. Электромагнитная техника и ее использование</i> .....	499
<i>2.3.1. Общая характеристика электромагнитного поля и единица                 измерения напряженности</i> .....	49
<i>2.4. Методы исследования сырья и продуктов экстракции</i> .....	53
<i>2.4.1. Анализ сырья</i> .....	53
<i>2.4.2. Анализ качества черного масла</i> .....	53
<i>2.4.3. Анализ качества жмыхов и шротов</i> .....	54
<b>Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЭКСТРАКЦИИ РАКУШКИ ХЛОПКОВЫХ СЕМЯН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ</b> .....	<b>58</b>
<i>3.1. Инфракрасная обработка высокоопущенных семян хлопчатника</i> ..	59
<i>3.2. Исследование технологии экстракции</i> .....	63
<i>3.3. Новые разработки в технологии переработки высокоопущенных         семян хлопчатника</i> .....	65
<i>3.4. Установление основных химических превращений</i> .....	68
<i>3.5. Изучение основных химических и качественных изменений при         частичной рафинации масла в мятке активированными в ЭМП         растворами</i> .....	69
<i>3.6. Изменение показателей жмыхов в процессе экстракции</i> .....	80
<b>ОБЩИЕ ЗАКЛЮЧЕНИЯ</b> .....	<b>82</b>
<b>ВЫВОДЫ</b> .....	<b>83</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	<b>85</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Масложировая промышленность Узбекистана объединяет комплекс производств, связанных общностью сырья, последовательностью стадий или этапов его переработки и назначением вырабатываемой продукции.

Для производства растительного масла, увеличения выхода и улучшения его качества масличные семена перед переработкой очищают от посторонних примесей, освобождают от плодовых или семенных оболочек, а затем подвергают измельчению с целью разрушения ткани семян, содержащей масло. Измельченные семена перед отжимом из них масла, как правило, предварительно нагревают, что способствует большему и более быстрому отделению масла.

Стремление к максимальному обезжириванию масличных семян хлопчатника привело к возникновению нового растительного маслоэкстракционного способа производства.

В настоящее время для получения масла из семян применяют два способа: прессовый и экстракционный. Для большинства масличных семян применяют последовательное извлечение масла – сначала прессовым способом, извлекающим примерно 3/4 всего масла, а затем экстракционным, с помощью которого извлекают остальное масло.

Растительные масла - незаменимый источник не только пищевых масел, но и быстро восполняемого химического сырья для получения глицерина, свободных жирных кислот, мыла олифы и т.д.

Обезжиренные масличные семена служат основным компонентом комбикормов для животных, а также являются сырьем для получения пищевых белков, используемых для повышения биологической ценности многих продуктов.

Хлопковое масло, получаемое как прессованием, так и экстракцией по схеме «форпресс-экстракция» содержит в своем составе примеси и сопутствующие вещества, а также специфические пигменты группы госсипола, обладающие исключительной реакционной способностью и токсичностью. Поэтому для удаления примесей и сопутствующих маслу веществ его подвергают обязательной рафинации. Рафинация сырого хлопкового масла осуществляется эмульсионным способом по периодической или непрерывной схеме с использованием раствора

каустической соды различной концентрации и избытка. Выделение госсипола и его производных из масла в процессе его рафинации для получения высококачественного масла, идущего на пищевые цели, связано с большими трудностями и потерями собственно триглицеридов.

Поэтому разработка новых и усовершенствование существующих технологий экстракции ракушки хлопковых семян с высокими технологиями ставит важные задачи перед работниками производства и науки в этом направлении. Перспективным является разработка методов экстракции ракушки хлопковых семян с использованием методов предварительной электрофизической обработки в частности электромагнитного поля.

Наличие в сыром хлопковом масле продуктов изменения госсипола в значительной мере зависит от способа получения масла, интенсивности и длительности влаготеплового воздействия на мятку семян, температуры отгонки растворителя из масла и других факторов.

Эти факторы, в свою очередь, зависят от качества хлопковых семян, которые поступают на переработку, в особенности от их сортовых разновидностей.

Наиболее рациональной схемой переработки хлопковых семян к настоящему времени является схема, предусматривающая максимальное выведение «свободного» нативного госсипола из мятки семян в масло, с последующей обработкой масла антраниловой кислотой и удаления из него антранилата госсипола.

При решении вопроса о комплексной переработке хлопковых семян должна быть предусмотрена такая технология, которая обеспечивает получение из семян ценных компонентов, которые должны использоваться в различных направлениях: для питания людей, кормления сельскохозяйственных животных, технических целей.

В данной работе решается задача повышения качества экстракционного хлопкового масла с использованием методов предварительной электрофизической обработки сырья (ракушки), в частности с использованием электромагнитного поля (ЭМП) при переработке семян хлопчатника.

Решение задачи повышения качества масел путем экстракции ракушки хлопковых семян с новыми способами на стадии маслодобыывания

способствует повышению эффективности производства, что является актуальным для масложировой отрасли Республики.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с программой Центра по Науке и Технологиям КМ РУз на 2010-2020 годы по прикладной тематике ГНТП-5 «Республиканинг минерал хом ашё ресурсларини кимё, озиқ-овқат, енгил саноат ва қишлоқ хўжалик маҳсулотлари, ҳамда чиқиндиларини ишлаб чиқариш, қайта ишлаш, сақлаш ва улардан фойдаланишнинг ресурстежамкор, экологик хавфсиз технологияларини ишлаб чиқиш». Она включена в координационные планы научно-исследовательских работ МинВУЗа республики, Бухарского инженерно-технологического института и ассоциации «Предприятия пищевой продукции» РУз.

**Цель работы** – повышение качества и расширение ассортимента хлопкового масла, для этой цели использование новых методов экстракции ракушки хлопковых семян, их научное обоснование и испытание результатов в производственной практике.

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие **задачи**:

– Изучение особенностей химического состава и качества масличных семян хлопчатника.

– Анализ и оценка действующих технологий извлечения масла из масличных семян хлопчатника разного качества и рафинации сырого масла, полученного из них.

– Определение возможностей совершенствования технологии экстракции ракушки хлопковых семян с использованием новых способов, повышения качества и улучшения состава рафинированных хлопковых масел, в том числе частичной рафинации масла в мятке на стадии маслодобывания.

**Объект и предмет исследования.** В качестве объектов исследования использованы хлопковая ракушка, экстракционный бензин, аппарат для ЭМП. Предметом исследования явилось изучение основных технологических и химических изменений в составе и качестве исходного сырья, промежуточных материалов и конечной продукции.

**Научная новизна:**

- определены оптимальные технологические режимы экстракции ракушки хлопковых семян с новыми способами;
- разработаны принципиально новые способы экстракции маслосодержащего сырья, в результате чего, достигнуто повышение качества, снижение энергетических и материально технологических расходов;
- для оценки степени экстракции маслосодержащего сырья, установлена зависимость выхода масла от технологических параметров процесса, количества и соотношения гидромодуля;
- для установления оптимальных технологических режимов использованы современные методы оптимизации;
- новые технологические разработки прошли опытно производственные испытания, достигнуто увеличение выхода растительного масла и получение расчетным способом определенного количества экономического эффекта.

***Практическая значимость и ценность:***

– Определены оптимальные значения напряженности электромагнитного поля обработки сырья.

– Путем выведения нежелательных сопутствующих маслу веществ достигнуто улучшение химического состава и качества частично и окончательно рафинированного масла с использованием рекомендуемой усовершенствованной технологии.

– Установлены способы экстракции и режимы экстрагирования ракушки хлопковых семян с использованием методов предварительной электрофизической обработки сырья (ракушки), в частности с использованием электромагнитного поля (ЭМП) при переработке семян хлопчатника.

***Реализация результатов и эффективность:***

Результаты новых научно технологических разработок в направлении совершенствования технологии экстракции ракушки хлопковых семян прошли опытно производственные испытания.

– Результаты экстракции хлопковой ракушки с использованием методов предварительной электрофизической обработки сырья (ракушки), в частности с использованием электромагнитного поля (ЭМП) при переработке семян хлопчатника апробированы в условиях АООТ «Когон ёғ».

– Результаты научных и практических исследований используются в учебном процессе при подготовке инженеров по технологии жиров, а также в промышленной практике первичной переработки семян хлопчатника и в технологии рафинации масла.

***Апробация результатов:***

– Результаты научно-практических исследований обсуждены и доложены на научно-теоретических и практических конференциях профессорско-преподавательского состава Бухарского инженерно-технического института высоких технологий (Бухара, 2011-2013 гг).

# Глава 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 1.1. Общие понятие о технологии экстракции

Экстракционный способ извлечения масла из масличного сырья может применяться как в чистом виде, так и в комбинации с форпрессованием. Наиболее характерным примером использования экстракционного способа в чистом виде является прямая экстракция «сырой мятки» при переработке семян сои. При комбинировании экстракционного способа с форпрессованием извлечение проводится в два этапа. На первом этапе форпрессованием извлекается до 80—85% масла, что облегчает проведение второго этапа — экстракции.

На предприятиях технологическая схема форпрессование — экстракция применяется при переработке семян подсолнечника, хлопчатника, льна, арахиса, копры, пальмовых ядер.

При прямой экстракции семян сои, а также отходов переработки плодов кориандра экстрагируют мятку, которой после кондиционирования по влажности и температуре придается на специальных вальцовых станках форма пластинок-лепестков (так называемый сырой лепесток).

Для других видов масличного сырья, перерабатываемого, как правило, по схеме форпрессование — экстракция, подготовка к экстракции материала — форпрессового жмыха — производится таким же путем, т. е. получением лепесткового помола из крупки форпрессового жмыха. Исключением являются семена хлопчатника, при переработке которых ввиду специфических свойств форпрессового хлопкового жмыха экстракции подвергают жмыховую крупку. В последнее время разработан и опробован способ форпрессования с одновременным получением форпрессового жмыха в виде гранул, направляемых затем на экстракцию.

В зависимости от подготовки материала к экстракции состояние

масла в нем будет различным.

В мятке и сыром лепестке основное количество масла находится на внешних и внутренних поверхностях частиц материала, а меньшая его часть — внутри деформированных и неразрушенных клеток.

В форпрессовом жмыхе, подготовленном к экстракции в виде крупки, лепестка или гранул, масло находится в том же состоянии, но, кроме того, и в ячейках вторичных структур, образовавшихся в процессе жарения и прессования мезги.

А.М.Голдовский (1937) впервые ввел понятие о двух условных состояниях масла в материале по отношению к действию растворителя:

1) масло, находящееся на внешних и внутренних поверхностях частиц, выделившееся и удержавшееся на них в процессе подготовки материала к экстракции;

2) масло, находящееся в толще частиц, а именно в частично деформированных и неразрушенных клетках и в ячейках вторичных структур, также образовавшихся при подготовке материала.

Впоследствии первый вид масла стали называть маслом свободным, а второй — маслом связанным.

Различное состояние масла в материале, подготовленном к экстракции двумя разными способами, в значительной степени определяет характер протекания самого процесса экстракции и влияет на скорость и полноту обезжиривания материала. Для извлечения свободного масла требуется только хороший контакт частиц материала с растворителем. Обязательным же условием извлечения связанного масла является проникновение растворителя через клеточные стенки и вторичные структуры и диффузия растворенного масла в обратном направлении.

Конечными продуктами процесса экстракции является масло и обезжиренный материал — шрот.

## 1.2. Теоретические основы процесса экстракции

Молекулярная и конвективная диффузия. Экстракция растительных масел из твердого тела — подготовленного к экстракции материала — относится к типично диффузионным процессам. Перенос масла из твердого тела в поток движущейся жидкости — растворителя или мисцеллы — осуществляется путем диффузии двух видов: молекулярной и конвективной. Эти два вида диффузии ниже рассматриваются отдельно и в их сочетании применительно к условиям экстракции масла из отдельной частицы и в реальных условиях при совокупности частиц.

Молекулярной диффузией называется перенос вещества в виде отдельных его молекул. В силу беспорядочного теплового движения эти молекулы обладают определенной кинетической энергией.

Ввиду близости полярностей двух жидкостей — масла и растворителя — интенсивности молекулярных сил в них близки друг к другу. При соприкосновении этих жидкостей поверхность раздела между ними долго существовать не может и они начинают смешиваться. Происходит взаимный переход молекул масла в растворитель и наоборот, молекул растворителя в масло. Чем выше температура, тем большей кинетической энергией обладают молекулы растворителя и масла.

Несмотря на беспорядочность движения молекул диффундирующих веществ, благодаря стремлению системы к термодинамическому равновесию они переходят из областей с большей концентрацией в области с меньшей концентрацией до полного уравнивания концентраций, что и является сущностью молекулярной диффузии.

Процесс молекулярной диффузии описывается первым законом Фика, согласно которому масса вещества  $dM$ , продиффундировавшего

за время  $d\tau$  через элементарную поверхность  $dF$  (нормальную к направлению диффузии), пропорциональна среднему градиенту концентрации  $dc/dx$  этого вещества.

$$dM = -DdFd\tau(dc/dx), \quad (1)$$

или в интегральной форме

$$M = -DF\tau(dc/dx). \quad (2)$$

В выражении градиента концентрации  $dc/dx$ :  $dc$  — разность концентраций;  $dx$  — путь диффундирования;  $D$  — коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом молекулярной диффузии.

Знак минус в уравнении указывает на то, что перенос вещества протекает в направлении падения концентрации распределяемого компонента.

Коэффициент молекулярной диффузии  $D$ , называемый также коэффициентом свободной молекулярной диффузии, показывает, какая масса вещества (масла) диффундирует в единицу времени через единицу поверхности при градиенте концентрации, равном единице. Как отмечает А. Г. Касаткин (1973), коэффициент диффузии представляет собой физическую константу, которая характеризует способность данного вещества проникать в ту или иную среду при данных температурных условиях. Величина  $D$  не зависит от гидродинамических условий, в которых проходит процесс. Способность данного вещества проникать в неподвижную среду зависит от размера молекул, вязкости среды и температуры. Повышение последней ускоряет тепловое движение молекул и снижает вязкость жидких компонентов, являясь, таким образом, фактором, оказывающим положительное действие на скорость диффузии ( $dM/d\tau$ ).

Размер диффундирующих молекул оказывает существенное влияние на величину коэффициента диффузии  $D$ , так как чем больше

размер молекулы, тем большее сопротивление она встречает со стороны среды и тем меньше скорость ее теплового движения. Следовательно, величина коэффициента диффузии находится в обратной зависимости от размера молекул диффундирующего вещества, что можно представить формулой А. Эйнштейна.

$$D = (RT / N)[1/(6\pi\eta r)]. \quad (3)$$

В этой формуле при предположении, что диффундирующие молекулы имеют форму шара,  $R$  обозначает газовую постоянную,  $T$  — абсолютную температуру,  $N$  — число Авогадро,  $\eta$  — абсолютную вязкость растворителя и  $r$  — радиус диффундирующих молекул. Как отмечает В. В. Белобородов (1966), формула Эйнштейна в приведенном виде хорошо согласуется с опытными данными в том случае, когда размер молекул диффундирующего вещества (масла) очень велик по сравнению с размером молекул растворителя, что и наблюдается в рассматриваемом случае при диффузии.

По опытным данным В. В. Белобородова, при 20° С коэффициенты молекулярной диффузии растительных масел имеют такой же порядок, как и для большинства других жидкостей (табл.1). Следует отметить, что при использовании в качестве растворителя дихлорэтана численные значения  $D$  примерно в 2 раза ниже, чем

Таблица 1

**Коэффициенты диффузии некоторых масел для экстракции**

Масло	Кислотное число, мг КОН	Коэффициент диффузии масла $D \cdot 10^5$ (см <sup>2</sup> / с) при использовании растворителя	
		Экстракционного бензина	Дихлорэтана
Подсолнечное сырое	2,25	0,68	0,30
Хлопковое сырое	11,5	0,71	0,29
Хлопковое рафинированное	-	0,70	-
Соевое сырое	1,74	0,59	0,28
Льяное сырое	-	0,68	-
Льяное рафинированное	-	0,67	-

для экстракционного бензина, что находится в соответствии со значениями их вязкостей. Наличие свободных жирных кислот в маслах в указанных пределах почти не сказывается на численных значениях  $D$ .

Под конвективной диффузией понимают перенос вещества в виде отдельных небольших объемов его раствора.

Уравнение конвективной диффузии представляют обычно в следующем виде:

$$dS = -\beta F dc d\tau, \quad (4)$$

где  $\beta$  — коэффициент конвективной диффузии; остальные значения аналогичны обозначениям в уравнении молекулярной диффузии

Коэффициент конвективной диффузии  $\beta$  представляет собой количество вещества (масла), переносимое через единицу поверхности в единицу времени при разности концентрации, равной единице.

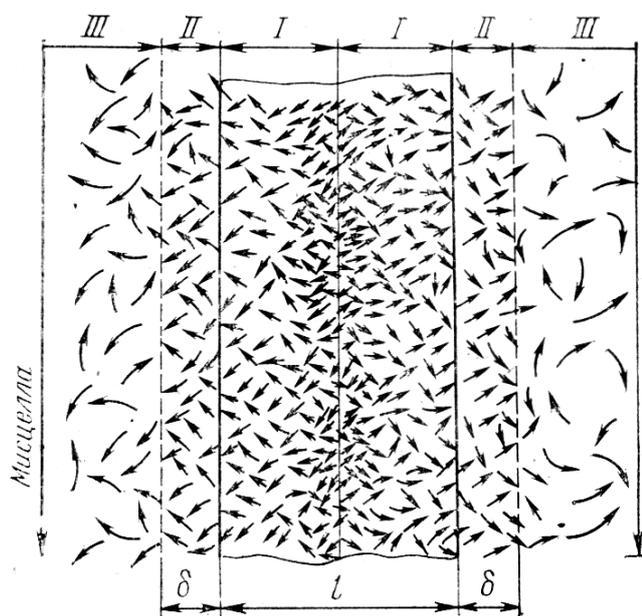
Различие коэффициентов этих двух видов диффузии заключается в том, что коэффициент  $\beta$  отражает интенсивность действия гидродинамических факторов, определяющих интенсивность переноса отдельных объемов вещества (их величину и количество, переносимое в единицу времени), в то время как коэффициент  $D$  отражает только интенсивность теплового движения молекул. При молекулярной диффузии перенос вещества происходит за счет кинетической энергии теплового движения молекул, а при диффузии конвективной — за счет энергии, вносимой извне. В частном случае маслоэкстракционного производства это приложение внешних сил к мисцелле осуществляется путем, например, напора, создаваемого насосом.

Так же, как и при молекулярной диффузии, на скорость конвективной диффузии большое влияние оказывает разность концентраций ( $dc$ ). Чем она больше, тем с большей интенсивностью будет осуществляться перенос отдельных объемов вещества из более концентрированной в менее концентрированную область до полного

уравнивания концентраций. На конвективный перенос влияет величина поверхности, через которую осуществляется перенос масла в поток движущейся жидкости  $F$ , и время диффузии  $d_{\tau}$ .

Общие представления о ходе экстракции масла растворителем из отдельной частицы материала. Механизм процесса экстракции масла применительно к отдельной частице материала может быть представлен в следующем общем виде. Вытеснив воздух из промежутков между частицами, растворитель смачивает внешнюю поверхность частицы, растворяя находящееся на ней свободное масло. Далее, вытесняя воздух из пор, растворитель проникает по порам внутрь частицы и растворяет находящееся в толще частицы масло. В результате смыкания внешних и внутренних потоков мисцеллы образуется единая система.

В потоке мисцеллы растворенное масло движется изнутри частицы к ее поверхности по порам, капиллярам, через неразрушенные клеточные стенки и перегородки вторичных структур. Затем масло в потоке мисцеллы выходит на поверхность частицы через окружающий ее пограничный слой жидкости, называемый диффузионным слоем или подслоем. Этот тонкий слой движущейся жидкости возникает у поверхности твердой частицы вследствие ориентации и связывания молекул масла свободным молекулярным силовым полем этой частицы. В пограничном диффузионном слое подвижность молекул масла значительно снижается по сравнению с подвижностью их в общем потоке жидкости (мисцеллы). От внешней поверхности пограничного слоя масло переносится в общий поток мисцеллы, движущейся в экстракционном аппарате.



**Рис. 1. Схема процесса экстракции масла из частицы при движении мисцеллы (А. М. Голдовский и В. В. Белобородов) :**

*l*—толщина лепестка;  $\delta$  — толщина пограничного слоя

На схеме этого процесса (рис. 1) стрелками показано направление движения молекул веществ, растворяющихся в ходе диффузии. Величина стрелок пропорциональна скорости молекул: расстояние между стрелками соответствует концентрации молекул в растворе. Движение молекул растворителя на схеме не показано. Величина соотношения между толщиной лепестка и толщиной пограничного слоя  $\delta$  принята условно.

По характеру диффузионного пути процесс экстракции масла делится на три этапа: *I* — молекулярная диффузия масла изнутри частицы материала к ее наружной поверхности; *II* — молекулярная диффузия через пограничный слой; *III* — конвективная диффузия масла от пограничного слоя в движущуюся мисцеллу.

Каждый этап диффузионного пути характеризуется своим коэффициентом диффузии: коэффициент молекулярной диффузии масла изнутри твердых частиц  $D_B$ ; коэффициент молекулярной диффузии в пограничном слое толщиной  $\delta$  (диффузия жидкости в жидкость) —  $D$ ; коэффициент конвективной диффузии —  $\beta$ .

Для процесса экстракции в целом вводится коэффициент массопереноса  $K$ . Коэффициент массопереноса представляет собой количество масла, переносимое через единицу поверхности в единицу времени при разности концентраций, равной единице. Определения коэффициента массопереноса и коэффициента конвективной диффузии совпадают, но они имеют разный физический смысл: коэффициент массопереноса характеризует процесс экстракции в целом, а коэффициент конвективной диффузии — третий этап диффузионного пути.

Коэффициент массопереноса (в см/с) в случае экстракции лепестка выражается следующей зависимостью (В.В.Белобородов, 1966):

$$K = \frac{1}{[l/(5,88D_B)] + (\delta/D) + (1/\beta)}. \quad (5)$$

Слагаемые в знаменателе представляют собой диффузионные сопротивления на  $I$ ,  $II$  и  $III$  этапах диффузионного пути.

При экстракции крупки, приближенно принимая форму частиц шарообразной, вместо толщины лепестка  $l$  можно подставить средний диаметр частицы. Уравнение не является расчетным, но позволяет качественно проанализировать зависимость коэффициента массопереноса или эффективность экстракции от влияния различных факторов. Коэффициент массопереноса  $K$  для данного экстрагируемого вещества и материала находится лабораторным путем через построение кривых экстракции по экспериментальным данным.

**Диффузия масла изнутри частицы — первый этап диффузионного пути.** Сопротивление диффузии на первом этапе, равное  $l/(5,88D_B)$ , характеризует через коэффициент внутренней диффузии  $D_B$  влияние на процесс экстракции внутренней структуры частиц, а через толщину лепестка  $l$  или средний диаметр крупки —

влияние внешней структуры экстрагируемого материала.

Скорость диффузии масла  $dM/d\tau$  изнутри частицы в основном определяется ее внутренней структурой. Численное значение коэффициента внутренней диффузии  $D_B$  характеризует степень вскрытия клеток, пористость материала и т. д.

Для идеальной внутренней структуры коэффициент внутренней диффузии должен быть равен коэффициенту свободной молекулярной диффузии. Следовательно, должно выдерживаться соотношение  $D_B/D=1$ .

Наиболее полно требованиям, предъявляемым к идеальной структуре, отвечает экспеллерный жмых, обладающий высокой пористостью.

Коэффициент внутренней диффузии экспеллерного жмыха из семян хлопчатника для частиц с  $d_{э\text{кв}}=4,5$  мм составляет  $D_B=0,19 \times 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/с, но и в этом случае остается примерно в 3 раза ниже коэффициента свободной молекулярной диффузии, который для хлопкового масла и экстракционного бензина составляет  $D=0,71 \times 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/с (см. табл. 1).

Коэффициент внутренней диффузии  $D_B$  называют еще и коэффициентом стесненной диффузии, так как под влиянием твердой частицы резко снижается скорость диффузии по сравнению с молекулярной диффузией масла в растворителе.

Определение коэффициента диффузии проводилось на двух образцах соевых семян (В.В.Белобородов, 1957). Коэффициент диффузии масла через неразрушенную клеточную структуру для ядра с  $r=2,89$  мм оказался равным  $D_B=0,24 \cdot 10^{-8}$  см<sup>2</sup>/с и для ядра с  $r=3,37$  мм  $D_B=0,27 \cdot 10^{-8}$  см<sup>2</sup>/с или, соответственно,  $D_B \cdot 10^8=0,24$  и  $D_B \cdot 10^8=0,27$  см<sup>2</sup>/с.

Результаты определения коэффициента диффузии масла внутри соевого лепестка различной толщины при использовании в качестве растворителя экстракционного бензина приведены ниже.

Толщина лепестка $l$ , мм .....	0,35	0,45	0,55	0,65
Коэффициент внутренней диффузии				
$D_B \cdot 10^6$ , см <sup>2</sup> /с.....	0,091	0,151	0,173	0,071

Оценка внутренней структуры показывает, что по порядку величин скорость диффузии масла внутри целого ядра с его неразрушенной клеточной структурой в 1000 раз, а внутри Сырого лепестка в 10 раз меньше скорости свободной молекулярной диффузии.

Оптимальную внутреннюю структуру имеет лепесток толщиной 0,55 мм, площадь поверхности такого лепестка составляет 43,4 см<sup>2</sup>/г.

При получении более тонкого лепестка путем уменьшения величины  $l$  диффузионное сопротивление должно уменьшаться. Но при этом наряду с увеличением количества вскрытых клеток наблюдается сжатие, искривление и замазывание сквозных пор веществом лепестка. В результате изменения пористости ухудшается внутренняя структура, следовательно, снижается коэффициент внутренней диффузии и возрастает сопротивление диффузии.

Площадь поверхности  $F$ , через которую происходит диффузия масла при уменьшении толщины лепестка с 0,55 до 0,35 мм возрастает с 43,4 до 73,6 см<sup>2</sup>/г. Увеличением поверхности компенсируется и даже перекрывается ухудшение внутренней структуры. В пределах 0,35—0,65 мм маслянисть шрота тем ниже, чем меньше толщина лепестка.

**Диффузия в пограничном слое —второй этап диффузионного пути.** Диффузия в пограничном слое является молекулярной и зависит от коэффициента молекулярной диффузии  $D$  и толщины пограничного слоя  $\delta$ . Толщина слоя зависит от физико-химических свойств поверхности, степени ее шероховатости, режима движения мисцеллы. Так, при переходе от ламинарного режима к турбулентному резко снижается толщина слоя и тогда вводится понятие диффузионного подслоя. Толщина диффузионного слоя или подслоя зависит также от тех факторов, которые определяют коэффициент молекулярной

диффузии  $D$ . Таким образом, диффузионное сопротивление

Таблица 2

**Этапы экстракции масел и их гидродинамическая характеристика**

Этапы	Диффузионные сопротивления	Толщина лепестка, мм				Среднее значение
		0,35	0,45	0,55	0,65	
Растворитель – экстракционный бензин						
Первый	$l/(5,88D_B)$	85,60	68,50	65,30	76,20	73,80
Второй	$\delta/D$	4,62	7,22	8,86	4,63	6,40
Третий	$l/\beta$	9,78	24,28	25,84	19,17	19,80
Второй и третий в сумме	$(\delta/D)+(1/\beta)$	14,40	31,50	34,70	23,80	26,20
Растворитель – дихлорэтан						
Первый	$l/(5,88D_B)$	73,00	72,00	65,20	72,40	70,67
Второй	$\delta/D$	6,88	10,90	13,25	12,10	10,78
Третий	$l/\beta$	20,12	17,10	21,55	15,50	18,55
Второй и третий в сумме	$(\delta/D)+(1/\beta)$	27,00	28,00	34,60	27,60	29,33

пограничного слоя  $\delta/D$  зависит от физических свойств растворителя и масла, температуры, скорости и режима движения мисцеллы.

**Диффузия масла от пограничного слоя в движущуюся мисцеллу — третий этап диффузионного пути.** На третьем этапе диффузионного пути протекает в основном конвективная диффузия. Но так как имеет место тепловое движение молекул, то идет и молекулярная диффузия, однако ее доля незначительна. Скорость конвективной диффузии зависит от гидродинамических условий движения потока мисцеллы, и при переходе от ламинарного к турбулентному движению она резко возрастает.

Диффузионное сопротивление на этом этапе равно  $1/\beta$  и отражает влияние гидродинамических условий, т. е. зависит от скорости и режима движения мисцеллы, ее физических свойств и температуры.

Сравнение диффузионных сопротивлений различных этапов процесса экстракции в процентах к общему диффузионному

сопротивлению  $1/K$  приводится в табл. 2 (В. В. Белобородов, 1966).

Скорость мисцеллы в вертикальных шнековых экстракторах, в экстракторах с рециркуляцией мисцеллы больше 1,0 см/с. Уже при скорости 0,5 м/с коэффициент конвективной экстракции сильно возрастает ( $\beta \rightarrow \infty$ ), одновременно уменьшается толщина пограничного слоя ( $\delta=0$ ), и сопротивлением второго и третьего этапа диффузионного пути можно пренебречь. Определяющим становится сопротивление первого этапа процесса — молекулярной диффузии внутри частиц экстрагируемого материала. Общее диффузионное сопротивление можно записать так:

$$1/K=l/(5,88D_B). \quad (6)$$

Лимитирующей стадией процесса будет диффузионный перенос масла изнутри твердой частицы. Коэффициент массопереноса, характеризующий процесс экстракции в целом,

$$K = \frac{1}{l/(5,88D_B)}. \quad (7)$$

**Процесс экстракции масла из частиц в их совокупности.** При экстракции масла из совокупности частиц, т. е. из массы материала, экстракция ведется в неподвижном частично перемешиваемом слое или во взвешенном состоянии.

При экстракции в частично перемешиваемом или неподвижном слое возможно слеживание частиц и блокирование их поверхности другими частицами, причем материал в виде крупки укладывается более плотно, чем материал лепестковой структуры. Если частицы способны сжиматься, как, например, сырая мятка, то с увеличением толщины слоя или под действием напора жидкости проницаемость слоя ухудшается.

В слое частиц создаются извилистые каналы между ними. От их непрерывности, диаметра и степени искривления зависит проникновение растворителя в толщу частиц. Слеживаемость частиц

ухудшает условия движения растворителя через материал; мелкие частицы уносятся растворителем, их скопление в отдельных местах увеличивает гидравлическое сопротивление. Эти участки хуже обрабатываются растворителем.

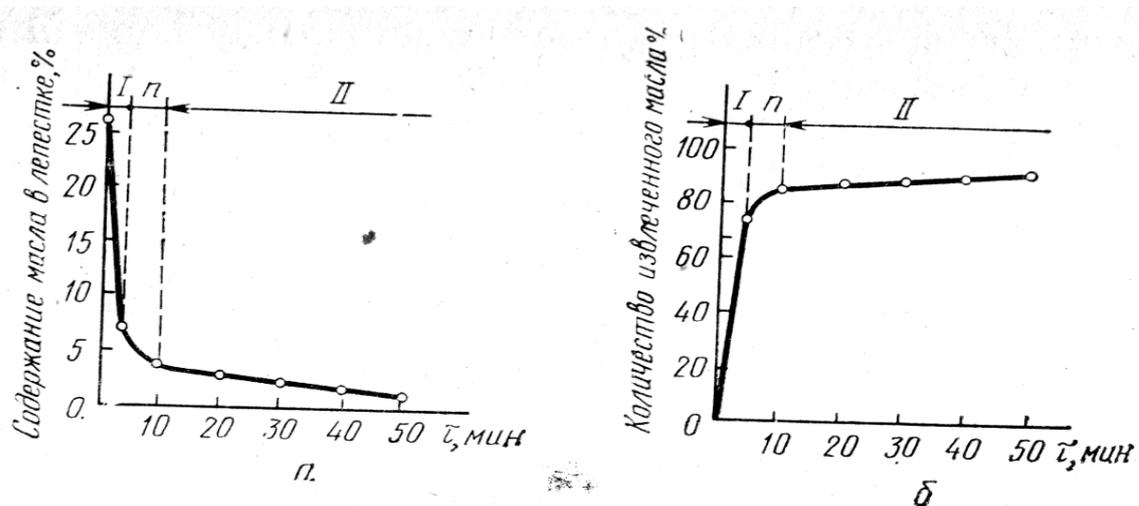
В перемешиваемом слое взаимное влияние частиц зависит от степени перемешивания. При экстракции во взвешенном состоянии отсутствует блокирование поверхности частиц друг другом и общая продолжительность процесса уменьшается.

### **1.3. Влияние различных факторов на полноту и скорость экстракции масла**

Попытки получить математическую зависимость, описывающую процесс экстракции в целом применительно к реальным условиям в промышленных экстракционных установках, пока не дали результатов. Поэтому влияние различных факторов на процесс, экстракции будет рассмотрено отдельно на основе экспериментальных данных.

**Влияние степени разрушения клеточной структуры и размера частиц материала.** Как уже отмечалось, I этап диффузионного пути — молекулярная диффузия изнутри частицы материала к ее поверхности — определяет эффективность процесса экстракции в целом. Поэтому к факторам, определяющим скорость экстракции, необходимо отнести главным образом такие, которые ускоряют молекулярную диффузию масла из частиц материала или вообще исключают этот этап диффузионного пути для основного количества масла.

В соответствии с понятием о двух формах связи масла с материалом процесс экстракции во времени практически делится на два



**Рис. 2. Изменение масличности материала (а) и количества извлеченного масла (б) в процессе экстракции**

периода. В первом периоде идет извлечение свободного масла, т. е. масла, находящегося на внешних и внутренних поверхностях, а во втором извлекается масло, находящееся в толще частиц, в неразрушенных или частично деформированных клетках и ячейках вторичных структур. Это подтверждается многочисленными данными лабораторных и производственных опытов.

Наличие двух периодов экстракции с переходной зоной *n* между ними для сырого соевого лепестка видно из рис. 2. В течение *I* периода экстракции и до конца переходной зоны, т. е. в течение 10 мин, извлекается не менее 85% масла, а остальные 15% — во *II* периоде экстракции.

В производственных условиях также прослеживается наличие *I* периода и замедление экстракции во *II* периоде. Следовательно, для быстрого и полного извлечения масла необходимо при подготовке материала к экстракции перевести в свободное состояние максимальное его количество путем разрушения клеточной структуры и вторичных структур жмыхов. Одновременно необходимо обеспечить хорошее проникновение растворителя между частицами и внутрь каждой частицы материала и обратную диффузию растворенного масла во внешний раствор.

Для этих целей следует стремиться к созданию оптимальной внешней и внутренней структуры материала, придавая ему необходимые структурно-механические свойства.

Внешняя структура материала характеризуется размером и формой частиц, а также соотношением частиц различной величины. Для максимального ускорения и большей полноты экстракции масла внешняя структура материала должна отвечать ряду условий.

Размеры частиц должны быть минимальными, чтобы удельная поверхность соприкосновения материала с растворителем была максимальной. Однако установлено, что при величине частиц менее 0,5 мм значительно уменьшается проницаемость их слоя и повышается остаточная маслячность шрота. Такие частицы легко вымываются потоком растворителя, в результате чего увеличивается величина отстоя в мисцелле и ухудшаются условия ее фильтрации. Кроме того, для равномерного омывания всех частиц необходима внешняя пористость материала, т. е. сохранение промежутков между частицами. Все это ограничивает степень измельчения материала при подготовке его к экстракции и вынуждает ограничиваться не минимальной, а оптимальной величиной его частиц, которая определяется опытным путем для каждого вида материала (лепесток, крупка) при переработке семян различных масличных культур.

Наконец, поглощающая и удерживающая способность как отдельных частиц, так и всего измельченного материала по отношению к растворителю и влаге (так называемая бензовлагодоемкость) должна быть минимальной; это обеспечивает естественный сток растворителя в экстракторе и облегчает его отгонку из обезжиренного материала.

Внутренняя структура частиц экстрагируемого материала также должна соответствовать ряду условий.

Так, в материале не должно быть целых, неразрушенных клеток, потому что диффузия масла из целых клеток затрудняется наличием

клеточных стенок и протекает медленно, а продолжительность производственной экстракции ограничена. Кроме того внутренняя структура экстрагируемого материала должна обеспечивать быстрое проникновение растворителя внутрь частиц, которые не должны иметь вторичных перегородок и должны обладать большой внутренней пористостью. Таким образом, внутренняя структура материала, так же как и внешняя, связана с размерами частиц экстрагируемого материала, так как уменьшение их размеров влечет за собой увеличение количества вскрытых клеток. Однако это условие также находится в противоречии с требованиями, предъявляемыми к внешней структуре материала, ограничивающими степень его измельчения.

Идеальной внутренней структурой частиц материала будет такая, при которой коэффициент внутренней диффузии  $D_B$  равен коэффициенту свободной молекулярной диффузии  $D$ , а отношение  $D_B/D=1$ . Значение этого соотношения для реального материала отражает степень приближения его внутренней структуры к идеальной.

**Влияние влажности материала.** Влажность экстрагируемого материала влияет на смачивание его растворителем и на диффузию масла изнутри частиц. Повышенная влажность ухудшает смачивание наружной поверхности частиц, клеточных стенок, ячеек вторичных структур, стенок пор. Набухание частицы при повышенной влажности уменьшает ее внутреннюю пористость. Все это осложняет проникновение растворителя внутрь частицы и обратную диффузию растворенного масла.

Повышенная влажность сырого лепестка приводит к значительной его слеживаемости, что нарушает непрерывную систему каналов между частицами и ухудшает омывание их растворителем. Это ухудшение внешней структуры отрицательно влияет на процесс экстракции в слое.

При низкой влажности форпрессового жмыха в процессе подготовки жмыховой крупки или жмыхового лепестка образуется

большое количество мелочи, что уменьшает проницаемость слоя и повышает отстой в мисцелле.

В связи с этим необходима определенная пластичность материала, обеспечивающая прочность частиц при транспортировке и исключая агрегирование частиц и уменьшение внешней пористости слоя. Следовательно, влажность влияет на структурно-механические свойства экстрагируемого материала.

Экстракция во взвешенном состоянии позволяет снять основное противоречие между требованием к внутренней и внешней структуре, так как здесь исключается слеживание. Так, прямая экстракция сырой подсолнечной мятки во взвешенном состоянии, по данным Л.А.Тарабаричевой (1973), возможна в широком диапазоне влажности от 3,5—4,5 до 8—9%.

При экстракции для каждого вида масличного сырья должна быть выдержана оптимальная влажность, величина которой зависит как от характера перерабатываемого сырья, так и от способа экстракции. Так, для линии НД-1250 влажность подсолнечного форпрессового лепестка должна быть в пределах 8,0—9,0%, а при переработке того же материала на линии МЭЗ рекомендуется влажность в пределах 7—8,5%. Форпрессовая крупка из обрубленных семян хлопчатника I—III сорта для линии НД-1250 должна иметь влажность 6—7%, а при переработке IV сорта—от 4,0 до 5,5%.

**Влияние температуры процесса.** Температура процесса экстракции определяется температурой материала, температурой растворителя и количественным соотношением этих компонентов. Температура процесса значительно влияет на скорость и полноту экстракции. При повышении температуры усиливается беспорядочное тепловое движение молекул, снижается вязкость растворителя и масла, благодаря чему повышается скорость диффузии.

Наиболее интенсифицируется процесс экстракции вблизи точки

кипения растворителя, а по ступеням экстракции — при начальных температурах кипения мисцелл.

Температура процесса экстракции определяется исходя из фракционного состава чистого растворителя, а по ступеням — из концентрации промежуточных мисцелл.

**Влияние разности концентраций и количества прокачиваемого растворителя.** Чтобы поддержать высокую разность между концентрацией масла в растворе внутри и снаружи частиц, необходимо соблюдать противоток. Практически концентрированные мисцеллы заменяются мисцеллами убывающих концентраций, которые пропускаются противотоком.

Эта замена может производиться способом рециркуляции, при котором мисцеллы пропускаются через слой твердых частиц, или погружением, когда твердые частицы погружаются и транспортируются через поток мисцеллы убывающей концентрации.

Чем больше растворителя подается в единицу времени, тем больше разность концентраций, однако количество растворителя можно увеличивать до определенных пределов, чтобы не снижать значительно концентрации конечных мисцелл.

При повышении количества растворителя увеличивается скорость его движения. Скорость растворителя, прокачиваемого через слой материала, должна обеспечивать по возможности турбулизированный режим его движения, наименьшую толщину диффузионного слоя и поддерживать высокую разность концентрации (градиент концентраций).

В зависимости от способа экстракции принимается определенное соотношение растворителя и материала, которое называется гидромодулем.

При экстракции способом погружения для получения масличности шрота 0,8—1,0% оптимальное соотношение растворителя и

экстрагируемого материала колеблется в пределах  $0,6 \div 1,0 : 1,0$ , а при экстракции по способу многоступенчатого орошения  $0,3 \div 0,6 : 1,0$ . При этом на промежуточных стадиях благодаря рециркуляции соотношение мисцеллы (растворителя) и экстрагируемого материала доходит до  $6 \div 8,0 : 1,0$ .

#### **1.4. Основные методы и способы экстракции**

Для извлечения масла из маслосодержащего материала принципиально возможно использование двух методов экстракции: метода настаивания и метода последовательного обезжиривания.

По методу настаивания свежий материал заливается чистым растворителем. Через некоторое время часть масла переходит в растворитель, образуется раствор — мисцелла, который затем сливается. Обезжиренный материал снова заливается чистым растворителем и так повторяется до тех пор, пока не будет извлечено почти все масло. Первые порции мисцеллы имеют более высокую концентрацию, в последующих концентрация убывает. Многократная обработка материала чистым растворителем протекает длительное время и приводит к получению слабоконцентрированных мисцелл.

При методе последовательного обезжиривания чистый растворитель непрерывно поступает на максимально обезжиренный материал, а концентрированная мисцелла — на свежезагруженное сырье. Использование этого метода дает возможность получить более концентрированные мисцеллы и сократить продолжительность экстракции. В промышленных условиях производства растительных масел в настоящее время применяется почти исключительно метод последовательного обезжиривания. Экстракционные аппараты, работающие по этому методу, делятся на аппараты периодического и непрерывного действия.

При переработке семян подсолнечника и хлопчатника в нашей стране и за рубежом длительное время использовались экстракторы

периодического действия фирмы «Кебер». Для создания непрерывности в работе экстракционного цеха использовалась батарея экстракторов из семи, восьми, девяти аппаратов. Установка работала по методу последовательного обезжиривания. Батарейные установки имели ряд существенных недостатков, свойственных установкам периодического действия.

Экстракция методом последовательного обезжиривания в аппаратах непрерывного действия позволяет: 1) соблюдать принцип противотока и применять метод последовательного обезжиривания в одном аппарате; 2) повысить безопасность работы путем автоблокирования электродвигателей, машин и аппаратов экстракционного цеха; 3) осуществить полную механизацию всех операций цеха и автоматизировать большинство из них; 4) значительно сократить количество оборотного растворителя в производстве.

Все экстракторы непрерывного действия работают по методу последовательного обезжиривания.

Для перемещения материала и обеспечения непрерывной работы экстрактора используются различные рабочие органы в виде вертикальных и горизонтальных шнеков; тарелок или системы прямых и обратных сетчатых воронок, набранных на вращающемся валу; вертикальных и наклонных ковшовых транспортеров; камер (корзинок), перемещающихся в горизонтальной плоскости по замкнутой кривой; горизонтальных ленточных и ленточно-рамных транспортеров; ротационных камер с зерными неподвижными или откидными днищами.

Такое разнообразие механизмов для перемещения материала в экстракторах не позволяет классифицировать их по этому второстепенному чисто конструктивному признаку. Ввиду этого в настоящее время общепринятой является классификация экстракторов по такому важному технологическому, обобщающему признаку, как

характер взаимодействия экстрагируемого материала и растворителя, — способу экстракции.

По этому признаку различают три вида экстракторов:

1) экстракторы, работающие по способу погружения экстрагируемого материала в противоточно движущийся растворитель;

2) экстракторы, работающие по способу многоступенчатого противоточного орошения растворителем материала, перемещаемого каким-либо транспортным механизмом;

3) экстракторы, работающие по смешанному способу, при котором на первой стадии свежий материал замачивается и экстрагируется концентрированной мисцеллой, а на второй окончательно обезжиривается путем многоступенчатого орошения мисцеллой и чистым растворителем

При экстракции способом погружения (иммерсионным) извлечение масла происходит бесступенчато в условиях абсолютного противотока. При этом способе большое значение имеет протяженность экстракционной трассы и количественное соотношение экстрагируемого материала и растворителя.

Для экстракторов, работающих по способу погружения, характерны следующие достоинства: простота конструктивного оформления и небольшие площади, занимаемые экстракторами; высокий коэффициент использования их геометрического объема (до 95—98%) и меньшая возможность образования в аппаратах взрывоопасных смесей воздуха и паров растворителя.

Наряду с этим экстракторы, работающие по такому способу, имеют следующие недостатки: получение мисцелл с низкой конечной концентрацией (15—20%); нарушение структуры материала при его перемещении и связанное с этим помутнение мисцеллы, осложняющее ее фильтрацию; большая габаритная высота аппаратов; возможность вымывания и уноса с мисцеллой частиц экстрагируемого материала и

его всплывания, когда плотность материала ниже плотности конечных мисцелл.

При экстракции способом многоступенчатого орошения (перколяционным) масло извлекается в условиях относительного противотока, так как здесь перемещается только растворитель, а материал, как правило, остается в покое на ленте, в ковше, в секциях ротора, корзинке и т.д.

Экстракторы, работающие по этому способу, имеют следующие достоинства: получение мисцелл повышенной концентрации (25—35%), что позволяет снизить соотношение количества растворителя и экстрагируемого материала и уменьшить расход тепла (пара) на дистилляцию мисцеллы; повышение чистоты получаемой мисцеллы благодаря ее самофильтрации через слой экстрагируемого материала; относительно небольшая высота экстракторов.

К недостаткам способа многоступенчатого орошения необходимо отнести: невысокий коэффициент использования геометрического объема экстрактора (не выше 45%) и возможность образования взрывоопасных концентраций смеси паров растворителя и воздуха внутри аппарата; сложные коммуникации циркуляционной системы растворителя и мисцеллы и большое количество насосов; сложная кинематическая схема привода аппарата.

При смешанном способе экстракции используются преимущества как способа погружения, так и способа многоступенчатого орошения. На стадии погружения в прямоточно движущийся растворитель (мисцеллу), осуществляемой в специальном аппарате, обеспечивается замачивание и перемешивание экстрагируемого материала. Это ускоряет переход в мисцеллу основного количества масла. Окончательное обезжиривание происходит в другом аппарате при ступенчатой промывке экстрагируемого материала мисцеллой убывающей концентрации и чистым растворителем.

Мисцелла на этой стадии подвергается самофилтрации через слой материала в условиях свободного стока или принудительного отсоса. Получаемая по этому способу мисцелла имеет высокую концентрацию и чистоту.

### **1.5. Новые и перспективные способы, аппараты и исследования в области непрерывной экстракции растительных масел**

В течение последних двух-трех десятилетий в практике промышленной экстракции растительных масел все более превалирующее положение занимает способ многоступенчатого орошения экстрагируемого материала углеводородными растворителями. Наряду с этим в тот же период времени непрерывно велись поиски новых растворителей для промышленного извлечения растительных масел, новых способов экстракции и их аппаратурного оформления.

Исследования в области применения новых растворителей для экстракции имели основную цель - получить масло и шрот более высокого качества, чем при экстракции углеводородными растворителями. Внимание исследователей уже давно привлекали такие высокополярные растворители, как этиловый спирт и ацетон, обладающие рядом специфических свойств, описанных в предыдущей главе.

Вопросом использования этилового спирта в качестве растворителя растительных масел занимались начиная с 30-х годов японские ученые. Тогда же впервые была осуществлена в заводских условиях периодическая экстракция масла абсолютным спиртом из соевых семян. В последующем интерес к спирту как растворителю для извлечения масла из семян значительно возрос, о чем свидетельствует большое количество работ по этому вопросу, опубликованных главным образом в США.

Обширные работы в этом направлении были проведены во ВНИИЖе (Ф.А.Вишнепольская и др., 1963-1964) применительно к семенном сои. На основании этих исследований можно заключить, что,

применяя в качестве растворителя спирт, можно получать из соевых семян масло, не требующее рафинации, светлый, приятного вкуса и запаха шрот с высоким содержанием протеина и незаменимых аминокислот, а также выделять фосфатиды и витамины. При экстракции спиртом масла из хлопковых семян получается высококачественное масло и шрот с очень низким содержанием госсипола. Особенно ценно то, что масло плохо растворимо в холодном спирте и при охлаждении спиртовых мисцелл до комнатной температуры можно выделить большую часть извлеченного из семян масла. Это масло содержит 6—7% растворителя и получается, практически нейтральным (0,25—0,5 мг КОН).

Для удаления из масла остатка спирта нет нужды в продолжительном тепловом воздействии, а удаление следов растворителя при дистилляции не является необходимым, как при работе с бензином, так как оно не связано с ухудшением качества продукта. При экстракции масла спиртом из соевых семян в полученном шроте практически полностью инактивируются уреаза и липоксидаза, а также соин и на 50—70% ингибитор трипсина. К числу преимуществ спиртовой экстракции относятся также лучшие условия труда благодаря более низкой токсичности спирта по сравнению с бензином и гексаном и меньшая огне- и взрыво- опасность производства.

Все приведенные данные говорят о целесообразности и большой продуктивности использования этилового спирта для экстракции растительных масел. В настоящее время в связи с предстоящим значительным увеличением производства сои в СНГ, а также с учетом расширения производства гидролизного и синтетического этанола этот вопрос является, безусловно, перспективным.

Одним из наиболее интересных, занимающих особое место в ряду растворителей растительных масел, является ацетон, обладающий одновременно гидрофильными и липофильными свойствами. Вследствие того, что значительную часть молекулы ацетона занимает полярная

гидрофильная карбонильная группа CO, ацетон характеризуется высокой диэлектрической проницаемостью и смешивается во всех отношениях с водой. В то же время вследствие присутствия в его молекуле двух мощных гидрофобных метиловых групп — CH<sub>3</sub> ацетон является хорошим растворителем для растительных масел, смешиваясь с ними во всех соотношениях.

Помимо хорошей растворимости масел в ацетоне он имеет неоспоримое преимущество перед другими растворителями, заключающееся в том, что для отделения масла от ацетона достаточно простого разбавления водой.

Как уже указывалось, применение ацетона благодаря двойственности его свойств дает возможность одновременно с маслом извлекать из хлопковых семян госсипол и другие нежировые вещества, получая шрот и масло, свободные от госсипола.

В области экстракции растительных масел ацетоном и его водными растворами за рубежом и в СНГ был опубликован ряд работ (Лури, 1956; Вакарино, 1957; Ржехин, Шкуропатова, 1963; Исмаилов, 1964; Белобородов и Бухтарева, 1966, 1967, 1968; Катинг, 1963). Всеми этими работами были показаны и подтверждены общие достоинства ацетона как растворителя, отмеченные ранее.

Наиболее обширные и оригинальные работы в этом направлении были проведены в 1966—1969 гг. во ВНИИЖе (Белобородов и Бухтарева). Основной целью исследований авторов было установление возможности применения селективной экстракции в системе жидкость — жидкость для извлечения сопутствующих веществ из растительных масел и получения таким путем масел более высокого качества при одновременном снижении потерь нейтрального жира по сравнению с наиболее распространенными сейчас способами щелочной и адсорбционной рафинации.

Однако наряду с этим основным, успешно решенным вопросом

авторами была исследована возможность совмещения процессов экстракции в системах твердое тело— жидкость и жидкость — жидкость. Проведенные исследования позволили разработать технологическую схему совмещения- этих двух процессов экстракции с использованием ацетона в качестве растворителя на обеих стадиях. Основанием к такому совмещению послужили селективные свойства водных растворов ацетона различных концентраций по отношению к нейтральному жиру и веществам, сопутствующим глицеридам растительных масел. В предложенной схеме было использовано свойство ацетоновых мисцелл фракционироваться при разбавлении водой с образованием слоя высококонцентрированной мисцеллы. Проведенные опыты показали, что при добавлении воды в ацетоновую мисцеллу даже самой невысокой концентрации (5%) после ее перемешивания и отстаивания образуется мисцелла с концентрацией 75—85%. Таким образом, объем мисцеллы, подвергающейся окончательной дистилляции, значительно сокращается, а расход тепла уменьшается.

Способность водного ацетона при прибавлении электролитов (например, NaCl) фракционироваться при комнатной температуре была использована для следующего узла схемы, а именно концентрирования растворов водного ацетона, получающегося при описанном выше процессе концентрирования исходной мисцеллы. Это позволяет уменьшить объем раствора, подаваемого на ректификацию, и увеличить его концентрацию до 80%, что обеспечивает значительное уменьшение расхода тепла и пара при ректификации.

На схеме 1 показано совмещение процессов экстракции ацетоном масла из мятки масличных семян (система твердое тело — жидкость) и сопутствующих веществ из концентрированных масляных мисцелл (система жидкость — жидкость). Сущность этого совмещения, как следует из схемы и сказанного выше, заключается в том, что ацетоно-масляная мисцелла, полученная при экстракции масла безводным

ацетоном после концентрирования без дистилляции направляется непосредственно на очистку (рафинацию) путем жидкостной экстракции водным ацетоном. По этой схеме в лабораторных и полупроизводственных условиях (на камеральной установке с вертикальным шнековым экстрактором) были получены очищенные подсолнечное, хлопковое, льняное и соевое масла, удовлетворяющие по кислотному числу и содержанию фосфатидов, а для подсолнечного масла и по цветности требованиям стандарта на масло рафинированное. В табл.3 приведены основные характеристики подсолнечного и льняного масел, полученных по схеме совмещения до и после жидкостной экстракции (по Белобородову и Бухтаревой) при пятиступенчатой экстракции сырой мятки.

Работы в области применения ацетона для экстракции растительных масел, проводившиеся в СНГ и за рубежом, еще не достигли стадии промышленного использования, возможно, вследствие большой стоимости и дефицитности ацетона по сравнению с применяемыми углеводородными растворителями. Однако ввиду совершенно очевидных преимуществ экстракции масел ацетоном, особенно по описанной совмещенной схеме, она является перспективной для маслоэкстракционного производства.

Для экстракции растительных масел во ВНИИЖе (Гавриленко, 1958) были проведены работы по экстракции масел сжиженными газами: пропаном, бутаном, их смесями и смесями других углеводородов. Опыты показали, что такой способ сокращает время экстракции, обеспечивает получение масел с наименьшим содержанием нежировых веществ, позволяет получать шроты высокого качества с минимальной степенью денатурации белков. Экстракторы должны рассчитываться на работу под давлением 0,4—1,5 МПа при температуре 25—30° С. По окончании экстракции растворитель из шрота удаляют небольшим нагревом или путем открывания вентиля на линии, соединяющей экстрактор с

всасывающей стороной компрессора. Дистилляцию профильтрованной мисцеллы проводят также путем слабого нагрева (40—45° С) или при комнатной температуре. Экстракция растительных масел сжиженными газами промышленного распространения не получила, однако для извлечения некоторых эфирных масел и пряноароматических веществ используют сжиженные углеводороды и диоксид углерода.

В КПИ Л. А. Тарабаричевой (1974) была исследована противоточная многоступенчатая экстракция сырой подсолнечной мятки *n*-гексаном во взвешенном состоянии при температуре порядка

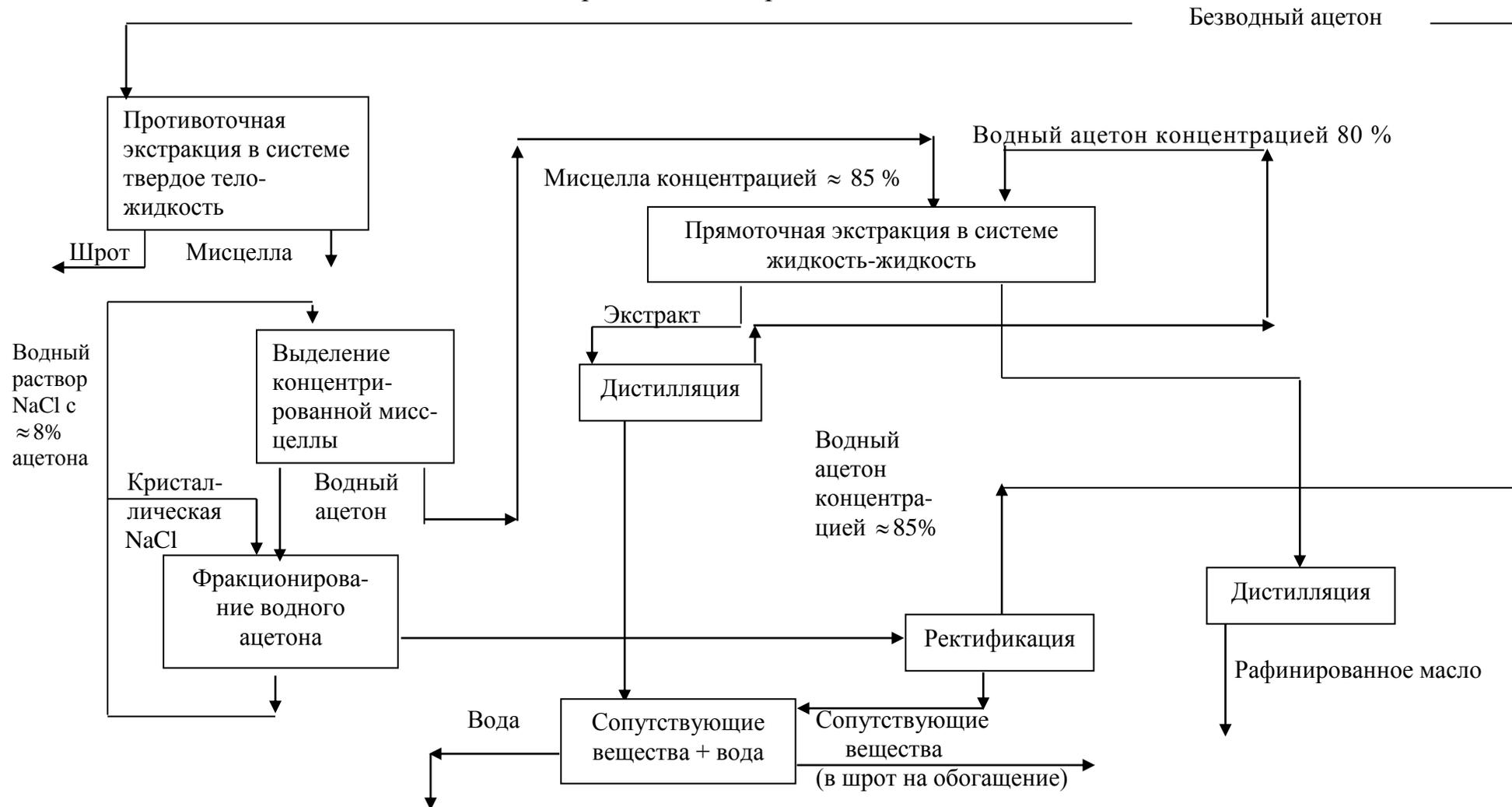
Таблица 3

### Способы экстракции растительных масел

Метод жидкостной экстракции	Масло	Кислотное число, мг КОН	Содержание фосфатидов, %	Цветность, мг J <sub>2</sub>
Прямоточная	Подсолнечное			
	исходное	0,84	0,18	4,3
	конечное	0,09	0,01	0,0
Многоступенчатая	Льняное			
	исходное	2,70	0,27	53,8
	Конечное	0,37	Не обнаружено	22,6

50°С. Эксперименты полностью подтвердили высокую технологическую эффективность экстракции мятки во взвешенном состоянии и возможность получения шрота с любой заданной масличностью. Исследование масла, полученного при экстракции сырой подсолнечной мятки, показало, что оно по основным качественным показателям (кислотное число, перекисное число, суммарное содержание продуктов окисления, цветность) превосходит форпрессовое и экстракционные масла, получаемые по принятой в промышленности технологии. При этом шрот отличается высоким содержанием растворимых фракций белков, и выход из него высококачественного белка значительно выше, чем из шрота, получаемого при экстракции форпрессового жмыха.

Совмещение процессов экстракции в системе ТТ-Ж и Ж-Ж

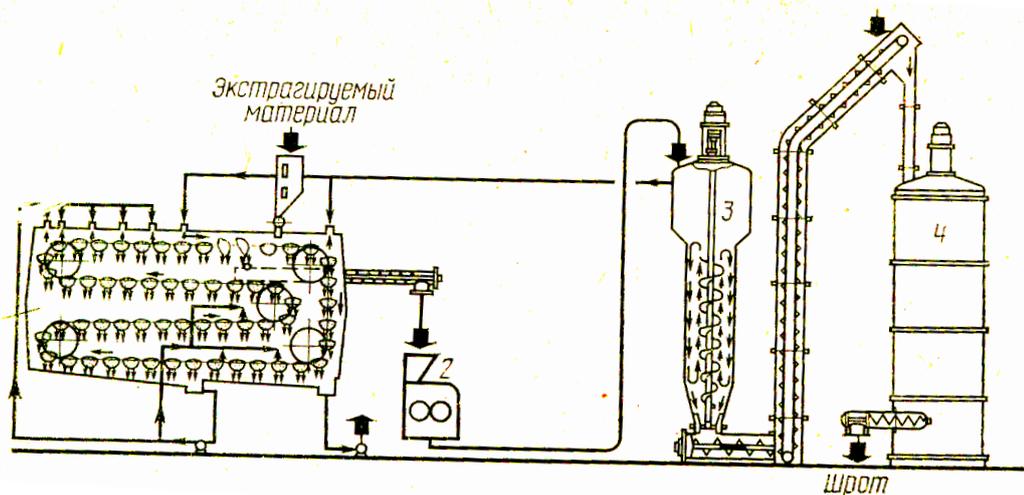


В результате дальнейших исследований прямой экстракции масла из семян подсолнечника рекомендовано максимальное удаление лузги из ядра, измельчение его до содержания не менее 80% вскрытых клеток, влажность мятки не более 9% и тепловая обработка семян до обрушивания при температуре 75—80° С. При последующей инженерной переработке аппаратурного оформления способа рекомендовано применять восемь ступеней экстракции с продолжительностью процесса на каждой ступени 15 мин, соотношением растворителя (гексана) и материала 4 : 1 и температурой 50—55° С.

Салимов (1975) применил для интенсификации процесса прямой экстракции сырой хлопковой мятки воздействие переменного электромагнитного поля, а также омагничивание растворителей. Исследовалась прямая экстракция такими растворителями, как гексан, экстракционный бензин, ацетон и его водные растворы с концентрацией 50—80%, при температуре от 18 до 40 °С и напряженности магнитного поля 16—120 кА/м. Установлено, что оптимальная напряженность электромагнитного поля находится в пределах 80—96 кА/м. Наложение электромагнитного поля обеспечивает снижение масличности шрота и переход всего свободного госсипола в масло, что существенно улучшает кормовые достоинства шрота.

В этих исследованиях были изучены также вопросы интенсификации процесса экстракции путем сочетания воздействия электромагнитного поля с наложением механических колебаний с различной амплитудой и частотой и наложением ультразвуковых колебаний с интенсивностью 0,9—1,1 Вт/см<sup>2</sup>. В каждом варианте обработки процесс обезжиривания ускорялся в 1,5— 3,0 раза.

За последние годы созданы и внедрены в промышленность



**Рис. 3. Принципиальная схема экстракционной установки «Дирекс»**  
 экстракционные установки, в которых по-новому решены вопросы прямой экстракции масла из масличных семян. Среди них определенный интерес представляют новые экстракционные аппараты фирмы «Бернардини» (Италия), фирмы «Сторк» (Голландия).

Экстракционная установка «Дирекс» фирмы «Бернардини» для прямой экстракции высокомасличных семян (рис. 3) в последние годы получила промышленное применение. Принципиальным ее отличием является двукратное извлечение масла из маслосодержащего материала: сначала в экстракторе перколяционного типа (т. е. работающего по способу многоступенчатого орошения) и затем в экстракторе иммерсионного типа (работающего по способу погружения материала в растворитель).

Насыщенный слабой мисцеллой шрот, выходящий из перколяционного экстрактора 1, направляется непосредственно на герметически закрытые плющильные вальцы 2, работающие в насыщенной парами растворителя атмосфере. Далее лепесток направляется в экстрактор 3, который по устройству близок к экстрактору «Олье», и тостер 4.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

Для проведения экспериментальных исследований в качестве исходного сырья использованы семена хлопчатника, выращенные в Бухарском вилояте в 2010-2012 годах. Для частичной и окончательной рафинации масла применены водные растворы гидроксида натрия и хлористого кальция. Совершенствование и интенсификация процессов частичной и окончательной нейтрализации осуществлялись путем использования активированных растворов в электромагнитном поле (ЭМП) различной напряженности.

Экспериментальные исследования проведены в лабораторных и опытно-производственных условиях.

Качество и физико-химическая характеристика исходного сырья, промежуточных и конечных продуктов, а также вспомогательных материалов оценены современными стандартными методами исследования, принятыми в масложировых и жироперерабатывающих отраслях промышленности [7,18-21,27].

### **Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЯ, ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

#### **2.1. Характеристика хлопковых семян и продуктов их переработки**

Основным сырьем, использованным нами в лабораторных, опытно-производственных и промышленных исследованиях, служили хлопковые семена различных сортов. Используемые семена характеризовались следующими показателями, %: масличность – 14,5...19,9; влажность- 7,8...14,0; опушенность - 7,6...12,5; засоренность - 1,8...20,4. Среднее кислотное число масла в исследованных образцах хлопковых семян составляло 5,9...14,0 мг КОН/г. В отдельных случаях при проведении опытно-производственных испытаний на АООТ «Бухоро-ёг» исследованию подвергались различные партии нестандартных семян хлопчатника со следующими усредненными показателями качества, %: масличность 14,6...18,2; влажность- 9,8...14,0; опушенность -9,4...12,5; засоренность - 14,7...20,4. Среднее кислотное число масла в семенах, отобранных в партиях масличных семян, в период опытных испытаний составляло 12...14 мг КОН/г. Качественные показатели хлопковых семян и продуктов его переработки,

использованных в период проведения экспериментов по совмещенной технологии маслодобывания и рафинации масла в мятке с использованием ЭМ воздействия, приведены в табл.4. и 5.

Для проведения экспериментов по совмещенной технологии маслодобывания и рафинации масла в мятке хлопковые семена обрушивали, затем ядро отделяли от шелухи на сепараторах, измельчали в вальцовых станках. Эти технологические операции осуществляли в соответствующих отделениях цехов и на оборудовании предприятия. Технологические операции первичной переработки семян проводили согласно действующим технологическим регламентам производства хлопкового масла.

Таблица 4.

#### Характеристика качественных показателей семян хлопчатника

№ партии	Сортность семян	Показатели качества				
		Влажность, %	Опушенность, %	Засоренность, %	Масличность, %	Кислотное число масла в семенах, мг КОН/г
1	I-II	7,8	7,6	1,8	19,9	5,9
2	I-II	11,0	8,5	2,5	18,2	6,7
3	III-IV	12,6	10,5	14,7	17,0	8,4
4	Нестандартные	14,0	12,5	20,4	14,5	14,0

Таблица 5.

#### Химический состав хлопковых семян

Состав, %	Сортность семян							
	I-II		I-II		III-IV		Нестандартные	
	в семенах	в ядре	в семенах	в ядре	в семенах	в ядре	в семенах	в ядре
Липиды	21,2	36,0	20,2	34,3	18,1	30,7	14,9	25,3
Белки (Nx6,25)	29,0	37,7	28,2	36,6	26,7	34,7	24,3	31,5
Целлюлоза	18,1	1,0	18,9	1,1	19,2	1,2	20,3	1,3
Зола	2,1	1,9	2,8	2,5	15,1	13,5	21,4	19,2

В качестве щелочного реагента в процессе предварительной обработки хлопковой мятки в пропарочно-увлажнительных шнеках использовали раствор каустической соды. Каустическую (NaOH) соду в сухом состоянии оценивали по следующим показателям, %: основное вещество -99,9; нерастворимые в воде вещества -0,005; тяжелые металлы -0,0005,

соответствие требованиям ГОСТа.

Перевод образовавшихся натриевых мыл в кальциевые соли жирных кислот в процессе частичной рафинации масла в мятке производили путем обработки мезги раствором хлористого кальция, соответствующего по качеству также требованиям ГОСТ: содержание, %: основного вещества - 96,0; примесей -0,05...0,10; щелочность в пересчете на  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -0,10.

Исследование технологии и окончательной рафинации частично рафинированных в мятке масел с пониженным кислотным числом проводили с использованием гидроксида натрия.

Во всех случаях концентрация и избыток растворов каустической соды выбирали в зависимости от исходного показания кислотного числа масла. Концентрация раствора хлористого кальция во всех случаях была постоянной (15 %), которая была установлена многочисленными экспериментальными опытами.

Щелочные растворы и растворы хлористого кальция активировались в электромагнитном поле. Электромагнитная активация проводилась с использованием стандартного аппарата АМО-25 УХЛ4, используемого для активации водных раствором в пищевом производстве. Использованный электромагнитный аппарат, установленный на линии активации растворов, обеспечивает напряжение магнитного поля в пределах  $(0,4...2,8) \cdot 10^{-4}$  А/м.

Регулирование напряжения магнитного поля в аппарате осуществлялось выпрямителем типа ВСА-5К путем изменения значения употребляемого прибором рабочего тока.

## **2.2. Техника эксперимента, лабораторные и заводские установки**

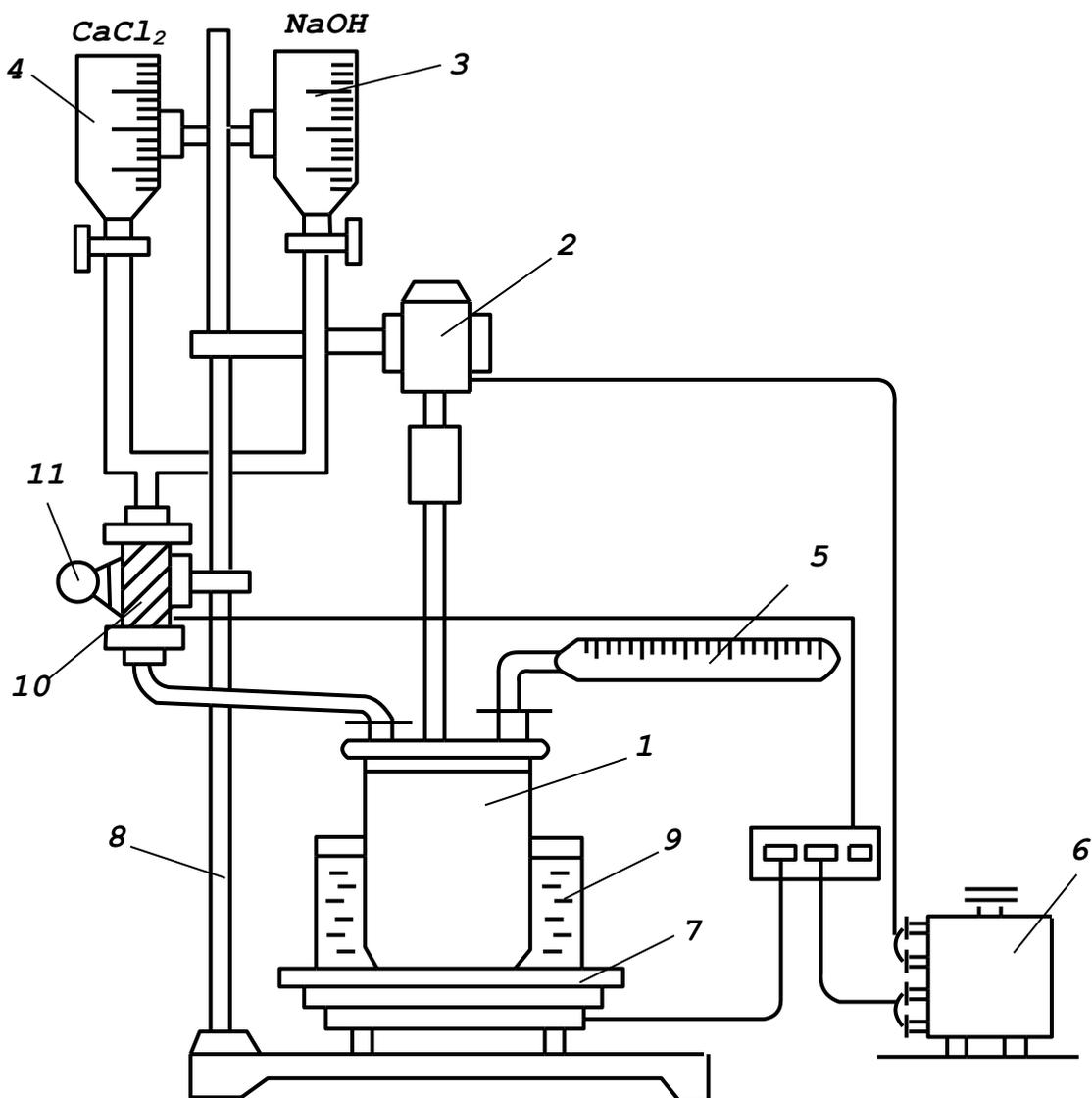
Лабораторные эксперименты по предварительной обработке хлопковой мятки растворами разбавленной каустической соды и хлористого кальция проводили в специальной металлической емкости (рис.4), внутренняя сторона которой покрыта коррозионностойким слоем, оборудованной электрическим нагревом и металлической мешалкой с регулируемым числом оборотов. Подача реагентов в мятку осуществлялась самотеком из соответствующих мерных емкостей.

Для активации растворов в электромагнитном поле использована лабораторная установка.

Испытание технологии частичной рафинации масла в мятке (форрафинация) проводили на установке, приведенной на рис.5 в опытных условиях АООТ «Бухоро ёғ» с использованием одной жаровой установки и двух прессовых агрегатов.

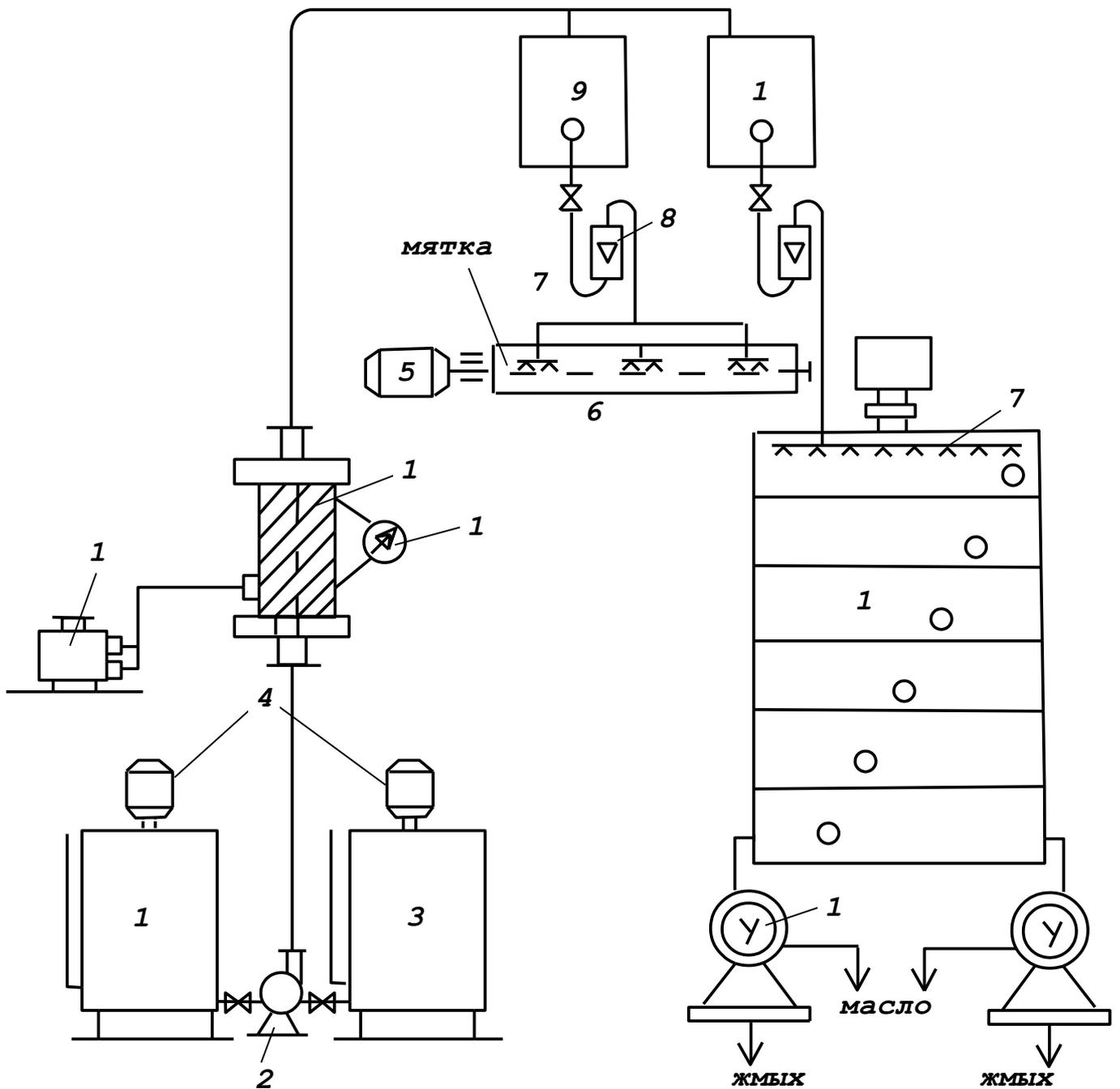
Принципиальная технологическая схема (рис.5) частичной рафинации масла в мятке активированными в ЭМП растворами NaOH и CaCl<sub>2</sub> в опытно-производственных условиях заключалось в том, что хлопковая мятка в пропарочно увлажнительном шнеке (6) обрабатывалась предварительно активированным в ЭМП раствором разбавленной каустической соды, подогретым до 80...85<sup>0</sup>C. Концентрация раствора щелочи и ее избыток устанавливались в зависимости от кислотности масла в сырье. Концентрация использованного раствора хлористого кальция была постоянной – 15 %. Таким образом обработанная хлопковая мятка затем поступала в первой чан жаровни (11), где она дополнительно обрабатывалась предварительно активированным в ЭМП и подогретым до 80...85<sup>0</sup>C 15 %-ным раствором хлористого кальция. Дальнейшие процессы влаготепловой обработки, жарения и прессования мезги соответствовали действующей технологии на заводе.

Для осуществления технологии частичной рафинации масла в мятке в опытно-производственных условиях и его практической реализации в условиях прессового цеха предприятия в пропарочно-увлажнительный шнек (11) подавали предварительно активированный в ЭМП и нагретый до 80...85<sup>0</sup>C раствор каустической соды концентрацией 9...10 % /в количестве, необходимом для повышения влажности мятки до 11,5..17,5 % [9]/, с помощью форсунки-распылителя (12) из емкости (20) для раствора каустической соды.



**Рис. 4. Лабораторная установка для частичной рафинации масла в сырье и окончательной рафинации частично-рафинированного масла**

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| 1. Емкость для сырья                      | 7. Электронагреватель        |
| 2. Электродвигатель                       | 8. Штатив                    |
| 3. Ёмкость для раствора NaOH              | 9. Водяная баня              |
| 4. Ёмкость для раствора CaCl <sub>2</sub> | 10. Электромагнитный аппарат |
| 5. Термометр                              | 11. Выпрямитель тока         |
| 6. Электротрансформатор                   |                              |



**Рис.5. Принципиальная технологическая схема опытной экспериментальной установки («Бухоро ёғ») частичной рафинации масла в сырье с активированными в ЭМП растворами NaOH и CaCl<sub>2</sub>.**

- |   |  |
|---|--|
| 1. Емкость для раствора NaOH              | 9. Напорный бачок для NaOH               |
| 2. Насос                                  | 10. Напорный бачок для CaCl <sub>2</sub> |
| 3. Ёмкость для раствора CaCl <sub>2</sub> | 11. Жаровня                              |
| 4. Мешалки с электродвигателями           | 12. Форпрессовые агрегаты                |
| 5. Электродвигатель                       | 13. Электромагнитный аппарат             |
| 6. Пропарочно-увлажнительный шнек         | 14. Выпрямитель тока                     |
| 7. Форсунки-распылители                   | 15. Электролизатор                       |
| 8. Расходомер-ротаметр                    |  |

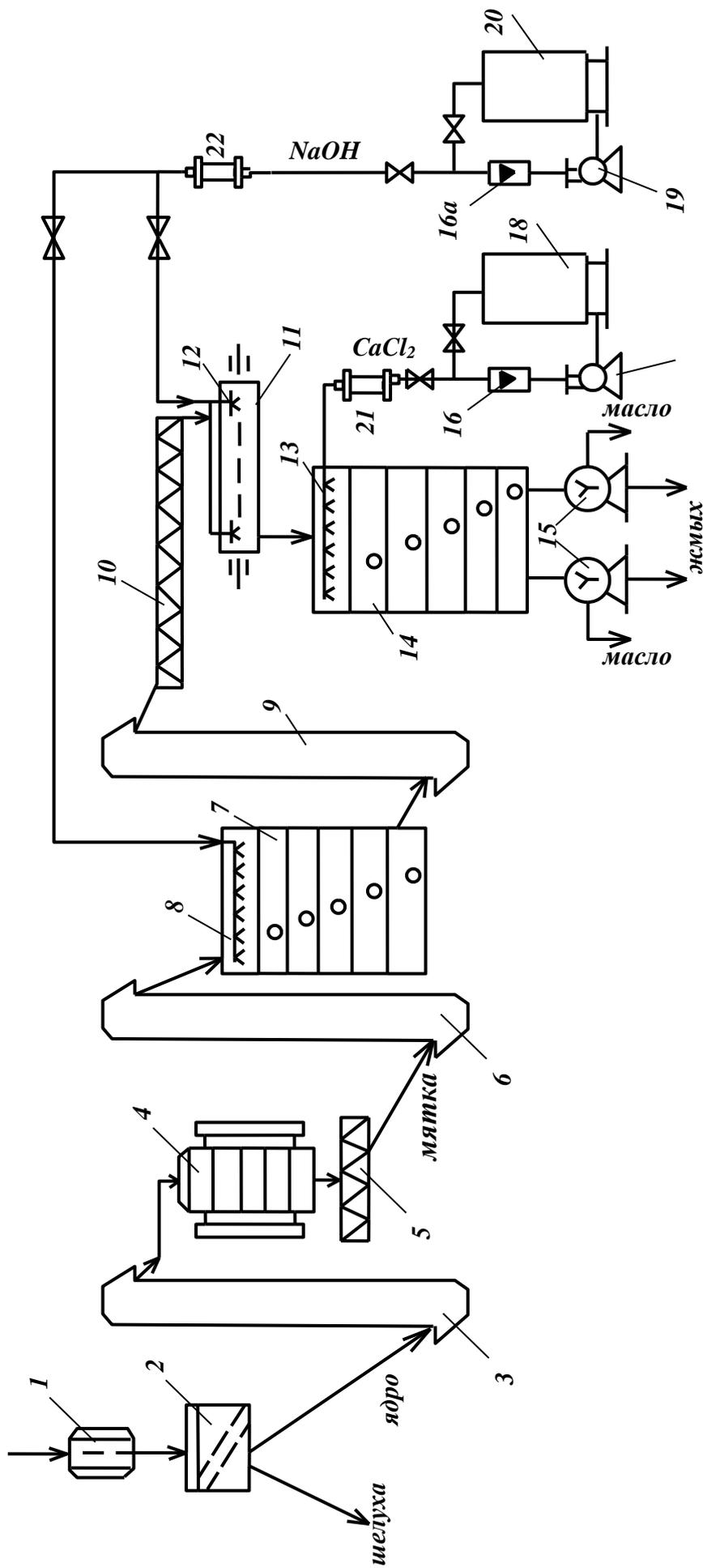


Рис.6. Принципиальная технологическая схема частичной рафинации масла в сырѣ в опытно-производственных условиях:

- 1. Шелушитель; 2. Сепаратор-разделитель; 3. Нория; 4. Вальцовый станок ВС-5; 5. Шнек; 6. Нория; 7. Увлажнительная жаровня; 8. Форсунки распылители; 9. Нория; 10. Распределительный шнек; 11. Пропарочно-увлажнительный шнек; 12. Форсунки; 13. Форсунки; 14. Жаровня; 15. Прессовые агрегаты; 16, 16а. Ротаметр-расходомер; 17,19. Насосы. 18. Емкость для раствора хлористого кальция; 20. Емкость для раствора каустической соды, 21,22 – Электромагнитные аппараты.

Подачу раствора каустической соды осуществляли насосом (19) через расходомер или ротаметр (16а), которым и контролировали необходимое количество активированного раствора соды для частичной нейтрализации свободных жирных кислот масла в сырье. Активацию раствора щелочи проводили с помощью электромагнитного аппарата (22).

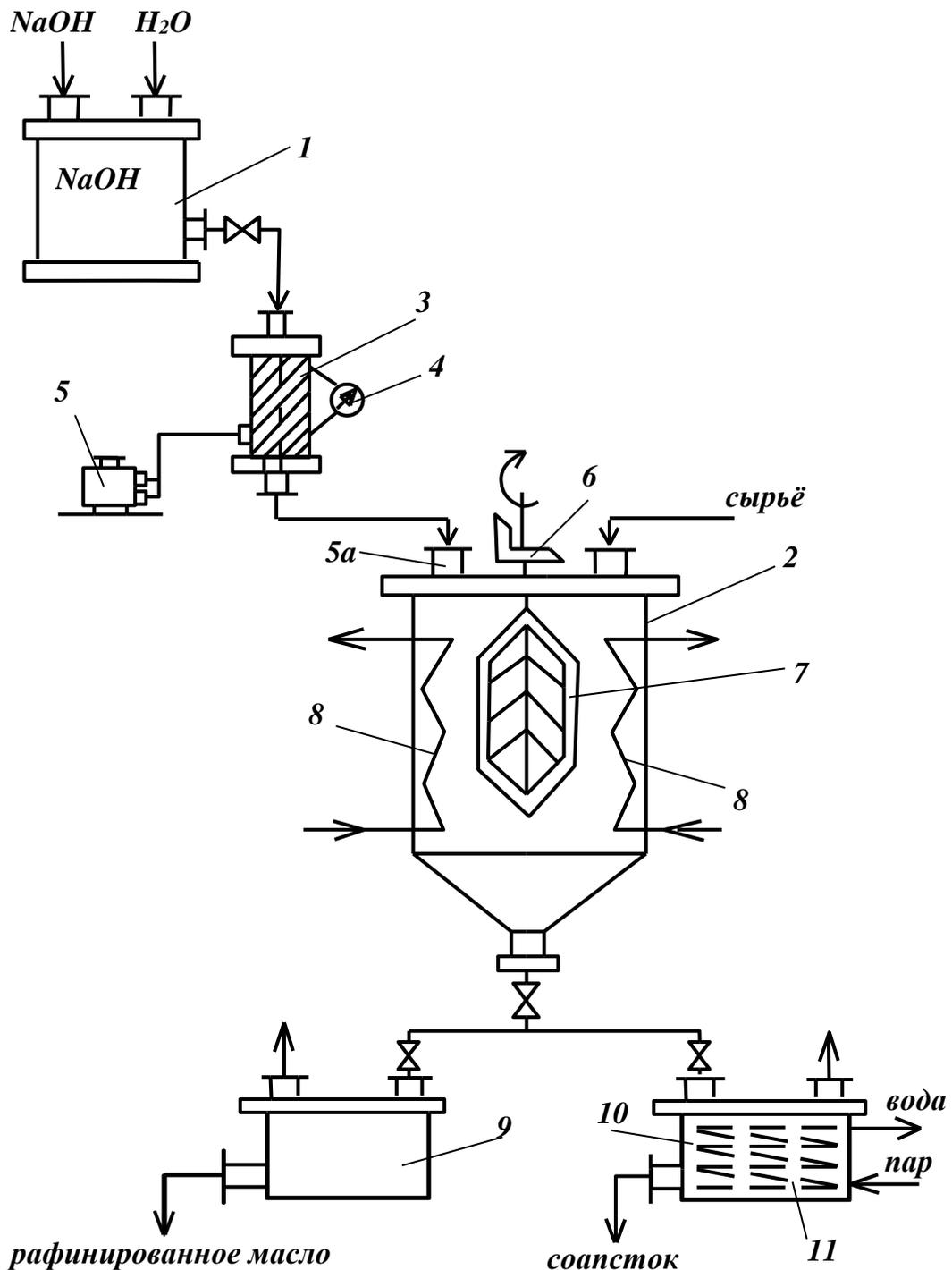
Обработанная раствором каустической соды мятка поступала в первый чан жаровни (14). В этом же чане (или же в некоторых случаях во 2-ом чане) жаровни мятку обрабатывали предварительно активированным в ЭМП и подогретым (80...85<sup>0</sup>С) раствором хлористого кальция заранее установленной концентрации 15 %. Раствор хлористого кальция подавали из емкости (18) насосом (17) через расходомер (16) и электромагнитный аппарат (21). Таким путем в пропарочно-увлажнительном шнеке осуществлен процесс частичной нейтрализации свободных жирных кислот, содержащихся в мятке раствором каустической соды. В первом и в последующих чанах жаровни, куда подавали раствор хлористого кальция, образовавшиеся натриевые соли жирных кислот переводили кальциевые соли, и на этом заканчивался процесс подготовки мезги к форпрессованию.

Окончательная рафинация частично рафинированного масла проводилась в нейтрализаторе с мешалкой.

Для окончательной рафинации частично рафинированного масла принципиальная схема (рис.7) эксплуатации электромагнитного аппарата заключается в следующем: раствор щелочи с определенной концентрацией из емкости (1) поступает через регулирующий вентиль самотеком в емкость электромагнитного аппарата (3), предназначенного для электромагнитной обработки растворов. Поэтому этот реактор в аппарате расположен внутри соленоида, предназначенного для создания электромагнитного поля.

Напряжение электромагнитного поля в соленоиде регулируется изменением сопротивления электрического тока в цепи. Для этого в электрической схеме электромагнитного аппарата установлен выпрямитель напряжения (4) типа ВСА 5К.

В опытных условиях окончательная рафинация частично рафинированного масла проводилась в нейтрализаторе (2) периодического действия, снабженном необходимыми патрубками, мешалкой и системой



**Рис.7. Технологическая схема активации щелочи и окончательной рафинации частично рафинированного хлопкового масла**

1. Емкость для раствора NaOH; 2. Нейтрализатор; 3. Электромагнитный аппарат; 4. Выпрямитель тока; 5. Электростанция; 5а. Патрубок; 6. Редуктор; 7. Мешалка; 8. Охладители; 9. Емкость для рафинированного масла; 10. Емкость для соапстока; 11. Охладитель-подогреватель.

охлаждения. Условия и технологические режимы устанавливались пробной рафинацией в лабораторных условиях в зависимости (см. соответст. главу) от исходных показателей частично рафинированного хлопкового масла. После завершения окончательной рафинации слив рафинированного масла и соапстока осуществляли самотеком в соответствующие емкости (9 и 10). Перед дальнейшей обработкой рафинированное масло и соапсток подвергали качественному и физико-химическому анализу.

Как уже отмечалось в литературном обзоре, одним из интенсифицирующих технологический процесс отделения свободных жирных кислот из маслосодержащего сырья факторов является применение электрофизических методов обработки водных растворов щелочей, в частности использование электромагнитных полей различной напряженности. Исходя из этого необходимо оценить электромагнитное поле и характеристику используемого электромагнитного аппарата АМО-25 УХЛ-4.

### **2.3. Электромагнитная техника и ее использование**

В лабораторных опытах и опытных установках на заводе в качестве интенсифицирующего фактора частичной и окончательной рафинации масла мы использовали аппарат, выпускаемый в России Чебоксарским заводом «Энергозапчасть».

Этот аппарат одновременно может использоваться в качестве очистки жидкостей от некоторых видов примесей.

#### **2.3.1. Общая характеристика электромагнитного поля и единица измерения напряженности**

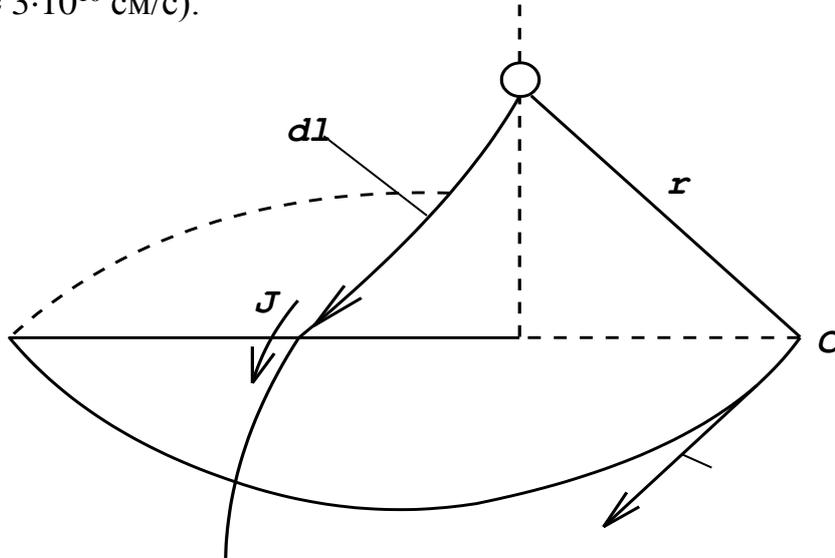
Силовой характеристикой магнитного поля служит вектор магнитной индукции -  $B$  (рис.8). В системе «СИ» он численно равен пределу отношения силы, действующей со стороны магнитного поля на элемент проводника с электрическим током, к произведению тока и длины элемента проводника, если длина этого элемента стремится к нулю, а элемент так расположен в поле, что этот предел имеет наибольшее значение:

$$B = \frac{1}{J} \left( \frac{dF}{dl} \right)_{\max} \quad (8)$$

В Гауссовой системе единиц:

$$B = \frac{C}{J} \left( \frac{dF}{dl} \right)_{\max} \quad (9)$$

где  $C$  - электродинамическая постоянная, равная отношению единиц заряда в системе СГСМ и СГСЭ и совпадающая со скоростью света в вакууме ( $C \approx 3 \cdot 10^{10}$  см/с).



**Рис.8. Силовая характеристика магнитного поля:**

$J$  – вектор интенсивности;  
 $dB$  – вектор магнитной индукции;  
 $dl$  – длина проводника.

Необходимо отметить, что изменение напряжения электрического тока в системе подчиняется закону Ома:

$$J = \frac{U}{R} \quad (10)$$

где:  $J$  – сила тока, Ампер;  
 $U$  – напряжение, Вольт;  
 $R$  – сопротивление, Ом.

и следовательно в этом случае напряженность магнитного поля определяется по формуле:

$$dH = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{J}{r^3} [dL \cdot r] = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{U}{R \cdot r^3} [dL \cdot r] \quad (11)$$

где:  $H$  – напряженность ЭМП;  
 $\pi$  - постоянная величина;  
 $J$  – сила тока, Ампер;  
 $R$  - сопротивление, Ом;  
 $U$  – напряженность тока, Вольт;

$r$  – радиус проводника.

Учитывая стандартные значения напряженности магнитного поля в использованном электромагнитном аппарате в пределах  $(0,4...2,8) \cdot 10^{-5}$  А/м в наших исследованиях изменение напряженности магнитного поля в указанных пределах осуществлялось выпрямителем в соответствующих значениях сопротивления тока в электрической цепи.

Силу, действующую со стороны магнитного поля на проводник с током, называют силой Ампера. Элементарная сила Ампера  $dF$ , действующая на малый элемент  $dL$  длины проводника, по которому идет электрический ток  $J$ , равна:

$$dF = J [dL \cdot B] \quad (\text{в СИ}) \quad (12)$$

$$dF = \frac{J}{C} [dL \cdot B] \quad (\text{в Гауссовой системе}) \quad (13)$$

где  $dL$  – вектор, численно равный длине  $L$  элемента проводника, направленный в ту сторону, что и вектор  $j$  плотности тока в этом элементе проводника.

Данное выше соотношение (12 и 13) называют законом Ампера.

В отличие от электростатических сил, которые являются центральными, сила Ампера, как и другие силы электромагнитного взаимодействия, не являются центральной. Она направлена перпендикулярно к линии индукции магнитного поля.

Если проводники с током или движущиеся заряженные тела (конвекционные токи) находятся не в вакууме, а в каком-либо веществе (магнетике), то это вещество намагничивается, и магнитная индукция результирующего поля равна:

$$B = B_o + B_{внутр} \quad (14)$$

где  $B_o$  – магнитная индукция внешнего (намагничиваемого) поля, создаваемого токами проводимости и конвекционными токами (макроскопическим токами);

$B_{внутр}$  – магнитная индукция поля токами в веществе.

В тех случаях, когда однородный и изотропный магнетик полностью заполняет все пространство, где имеется магнитное поле или часть его таким образом, что линии индукции намагничивающего поля не пересекают поверхность магнетика, то в магнетике:

$$B = \mu B_o \quad (15)$$

где  $\mu$  - относительная магнитная проницаемость магнетика, показывающая во сколько раз при заданном распределении макроскопических токов магнитная индукция в рассматриваемой точке поля в данном веществе, заполняющем все поле, больше чем в вакууме.

Напряженностью магнитного поля называют векторную физическую величину –  $H$ , характеризующую магнитное поле и определяемую следующим образом:.

$$H = \frac{B}{\mu_0} - J \quad (\text{в СИ}) \quad (16)$$

$$H = B - 4\pi J \quad (\text{в Гауссовой системе}) \quad (17)$$

где  $J$  – вектор интенсивности намагничивания среды в рассматриваемой точке поля. В частности, для магнитного поля в вакууме:

$$H = \frac{B}{\mu_0} \quad (\text{в СИ}) \quad (18)$$

$$H = B \quad (\text{в Гауссовой системе}) \quad (19)$$

Если среда изотропна, то

$$H = \frac{B}{\mu\mu_0} \quad (\text{в СИ}) \quad (20)$$

$$H = \frac{B}{\mu} \quad (\text{в Гауссовой системе}) \quad (21)$$

где  $\mu$  - скалярная величина, так что векторы  $H$  и  $B$  полинеарны, то есть однозначны.

Если выполнены условия ( $B = B_o + B_{\text{внутр}}$ ), то есть, в частности для магнитного поля в однородном изотропном магнетике, заполняющем весь объем поля, напряженность  $H$  не зависит от и совпадает с напряженностью в рассматриваемой точке для магнитного поля, создаваемого той же системой макроскопических токов:

$$H = \int_i dH \quad (22)$$

где  $dH$  – может быть найдено из закона Био-Савара-Лапласа для напряженности магнитного поля:

$$dH = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{J}{r^3} [dJ \cdot r] \quad (\text{в СИ}) \quad (23)$$

$$dH = \frac{1}{c} \cdot \frac{J}{r^3} [dJ \cdot r] \quad (\text{в Гауссовой системе}) \quad (24)$$

где  $dJ$  – вектор элемента проводника (рис.4), численно равный  $dL$  и проведенный в направлении тока;  $r$  – радиус-вектор, проведенный из этого элемента проводника в рассматриваемую точку поля,  $r=[r]$ ;  $c \approx 3 \cdot 10^{10}$  см/с - электродинамическая постоянная;  
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  в,с/А/м =  $4\pi \cdot 10^{-7}$  гн/м - магнитная постоянная.

Исходя из вышеприведенной формулы (23 и 24) единица измерения напряженности магнитного поля выражается в Амперметрах.

## **2.4. Методы исследования сырья и продуктов экстракции**

Отбор проб сырья, промежуточных продуктов его переработки и готовой продукции проводили в соответствии с действующими требованиями [7,18-21].

Семена, промежуточные продукты его переработки, частично и окончательно рафинированные масла анализировали методами, принятыми в масложировом производстве [7,21].

### **2.4.1. Анализ сырья**

В хлопковых семенах определяли влажность, засоренность, опушенность, масличность и кислотное число масла. На основе этих показателей устанавливали сортность использованных семян.

В хлопковой мятке определяли влажность и масличность.

Определение массовой доли влаги в объектах (семена и мятка) проводили весовым методом [5,7,28] с отнесением количества натурной влажности к массе сухого вещества материала.

Засоренность и опушенность хлопковых семян определяли согласно методике, описанной в «Руководстве» [7].

Определение масличности семян и мятки проводили в аппарате Сокслета [18-20]. В качестве растворителя для экстракции применяли петролейный эфир.

Кислотное число масла в семенах определяли по действующей методике [21].

### **2.4.2. Анализ качества черного масла**

В сыром масле, полученном обработкой хлопковой мятки растворами

каустической соды и хлористого кальция в лабораторных и опытно-производственных условиях, определяли кислотное число, цветность, содержание фосфатидов и госсипола.

Определение кислотного числа сырого масла проводили методом, используемом в промышленной практике [7,21].

Цветность профильтрованного сырого масла определяли с помощью цветомера Ловибонда [21] в 1,0 см. слое.

Содержание фосфатидов определяли с применением молибденовокислого аммония и сухого сжигания пробы [7,21].

Содержание свободного госсипола в «сыром» хлопковом масле определяли анилиновым методом [7]. Сущность этого метода заключалась в реакции взаимодействия госсипола с анилином с образованием в масле и в некоторых органических растворителях дианилингоссипола.

Содержание госсипола в процентах ( $X$ ) вычисляли ют по формуле:

$$X = \frac{P_1 \cdot 0,775 \cdot 100}{P} \quad (25)$$

где  $P_1$  – вес осадка дианилингоссипола, г;

0,775 – коэффициент, характеризующий соотношение между госсиполом и дианилгоссиполом;

$P$  – навеска масла, г.

Содержание госсипола в сыром хлопковом масле определяли колориметрическим методом [7,18-20], основанном на способности госсипола и некоторых его производных давать при нагревании их масляных растворов в присутствии фосфатидов стабильные по интенсивности окраски продукты. Для этих целей использовали фотоэлектрокolorиметр.

### **2.4.3. Анализ качества жмыхов и шротов**

Качество жмыхов и шротов, полученных в лабораторных и опытно-производственных условиях, оценивали по влажности, содержанию свободного госсипола, содержанию протеина, масличности, а также натриевых и кальциевых солей жирных кислот.

Влажность жмыхов и шротов определяли в пробах материала высушиванием до постоянной массы [7,18-21].

Определение масличности проводили в аппарате Сокслета [20].

В качестве растворителя для экстракции жмыхов и шротов применяли

петролейный эфир.

Определение содержания протеина в жмыхах и шротах проводили макрометодом Кьельдаля [7].

Содержание общего азота в процентах ( $X$ ) при исходной влажности материала вычисляли по формуле:

$$X = \frac{[y_1 - y_2] \cdot 0,0014 \cdot K \cdot 100}{P} \quad (26)$$

где:  $y_1$  – количество 0,1 н раствора щелочи, израсходованное на титрование

50 мл 0,1 н раствора серной кислоты в контрольном опыте, мл;

$y_2$  – количество 0,1 н раствора щелочи, израсходованное на титрование

серной кислоты в опыте с навеской анализируемого вещества, мл;

0,0014 – количество азота, эквивалентное 1 мл точно 0,1 н раствора

серной кислоты, г;

$K$  – поправка к титру 0,1 н раствора КОН или NaOH;

$P$  – навеска материала, г.

Содержание сырого протеина в исследуемом материале в процентах ( $X$ ) вычисляли по формуле:

$$X_1 = X \cdot 6,25 \quad (27)$$

где  $X$  – содержание общего азота в % в исследуемом материале, найденное по предыдущей формуле;

6,25 – коэффициент пересчета на сырой протеин.

Определение массовой доли госсипола в хлопковых жмыхах и шротах осуществляли фотометрическим методом [7,18-21].

Массовую долю свободного госсипола в процентах рассчитывали по формуле:

$$X = 0,1 \cdot \frac{C \cdot y_1 \cdot y_3}{m \cdot y_2} \quad (28)$$

где  $C$  – массовая концентрация госсипола в растворе, найденная по градуировочному графику, г/л;

$y_1$  – объем раствора в хлороформе, мл;

$m$  – масса шрота, г;

$y_2$  – объем аликвотной части, мл;

$y_3$  – объем раствора, приготовленного для определения оптической плотности, мл.

Расчет производили до третьего знака после запятой с последующим округлением результата до второго знака. За результат анализа принимали среднее арифметическое значение двух параллельных определений.

Определение массовой доли солей (натриевых и кальциевых) жирных кислот в жмыхах осуществляли согласно «Руководству» по методам исследования [7,18-21].

Для определения массовой доли солей жирных кислот в жмыхах предварительно получали экстракты мыл из исследуемого образца.

Получение экстрактов мыл [6,7] осуществляли обработкой жмыхов экстракционным бензином до полного извлечения содержащихся в них масла и солей жирных кислот. Затем полученную мисцеллу подвергали лабораторной дистилляции до полного удаления растворителя. Отделение масла от солей жирных кислот осуществляли путем низкотемпературного фракционирования. Экстракты солей жирных кислот в дальнейшем были подвергнуты анализу.

К полученному экстракту натриевых мыл приливали 50 мл горячей (80...90<sup>0</sup>С) дистиллированной воды, 2...3 капли раствора метилового красного и титровали 0,1 н раствором серной кислоты до появления розовой окраски нижнего (водного) слоя.

К экстракту кальциевых мыл добавляли 100 мл горячего (70...80<sup>0</sup>С) нейтрализованного изопропанола. Смесь оттитровывали 0,1 н раствором соляной кислоты до перехода окраски раствора от синей (сине-зеленый) к желтой.

Массовую долю мыла в процентах в исследуемом материале (олеата Na или Ca) рассчитывали по формуле:

$$C_{Na} = \frac{3,04 \cdot K \cdot y}{m}; \quad C_{Ca} = \frac{3,01 \cdot K \cdot y \cdot f}{m} \quad (29)$$

где  $y$  – объем 0,1 н раствора соответствующей кислоты, идущей на титрование экстракта, мл;

$K$  – поправка к титру 0,1 н растворов кислот;

$m$  – навеска пробы, г;

3,04 – коэффициент пересчета на олеат Na;

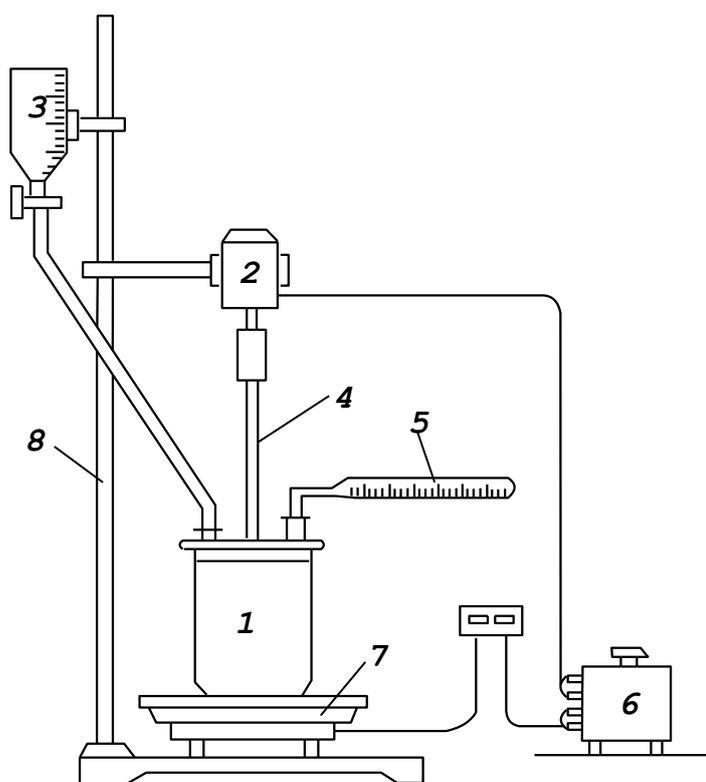
3,01 – коэффициент пересчета на олеат Ca;

$f=1,07$  – коэффициент, учитывающий несоответствие перехода окраски

бромфенолового синего значению рН эквивалентной точки титрования кальциевых мыл в смеси бензинизопропана.

За окончательный результат принимали среднее арифметическое из двух параллельных определений. Допустимое расхождение между параллельными определениями не превышало 15 % от среднего значения данных.

Для исследования рафинируемости частично рафинированных хлопковых масел с пониженным кислотным числом проводили их окончательную щелочную рафинацию. Исследования проводили в лабораторных условиях в пробном нейтрализаторе.



**Рис.9.** *Принципиальная схема лабораторной установки для окончательной рафинации частично рафинированного в сырье масла*

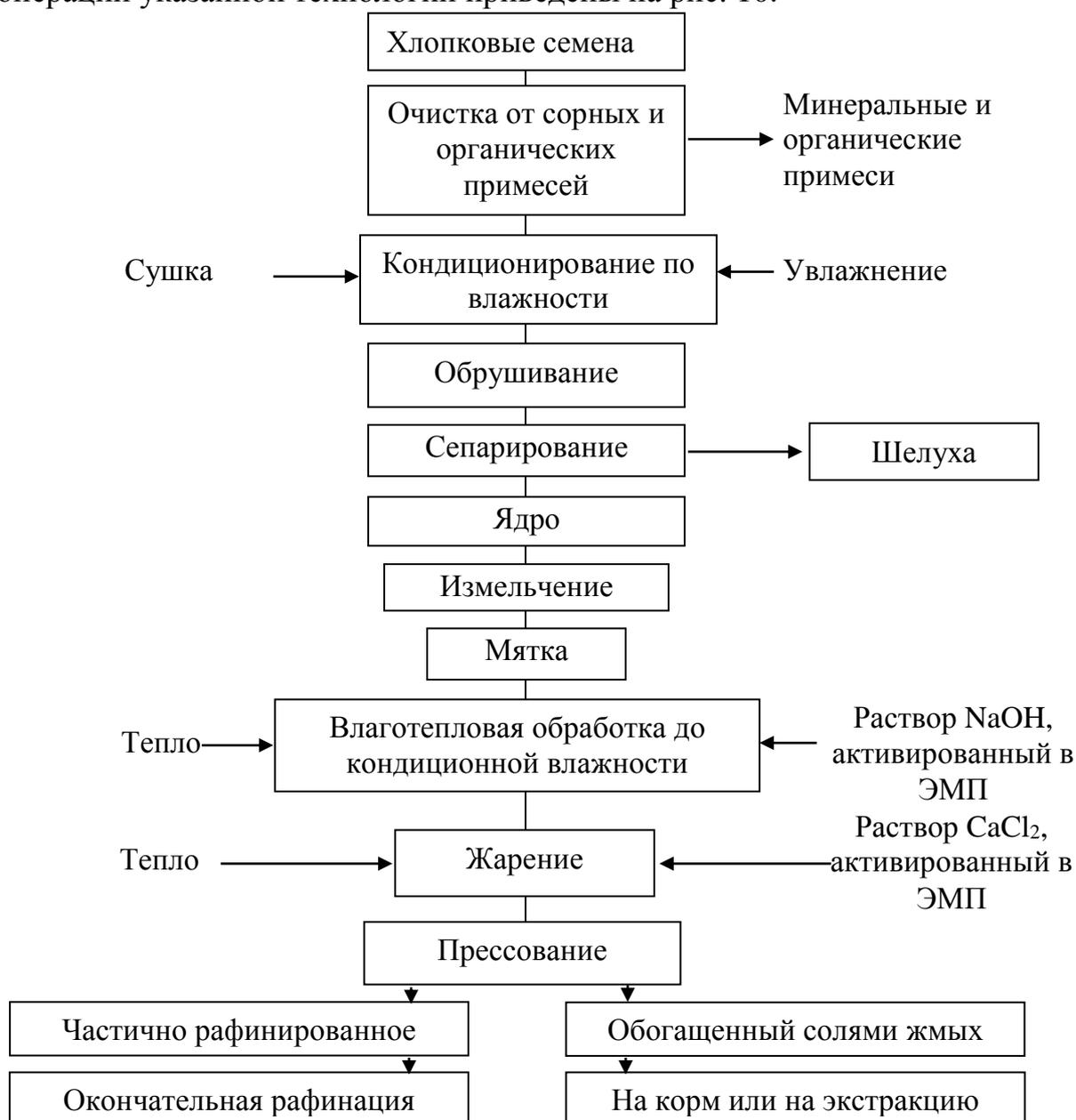
*1.Емкость для рафинации; 2. Электродвигатель; 3.Мерник для активированного в ЭМП раствора каустической соды; 4.Мешалка; 5.Термометр; 6.Автотрансформатор; 7.Подогреватель; 8.Штатив.*

Рафинацию частично рафинированных прессовых масел, полученных в опытно-производственных условиях, проводили в заводских нейтрализаторах периодического действия эмульсионным способом.

Опытно-производственные испытания проводили в периодических нейтрализаторах вместимостью 11 тн.

### Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЭКСТРАКЦИИ РАКУШКИ ХЛОПКОВЫХ СЕМЯН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ

Нами впервые предложена и разработана усовершенствованная технология частичной рафинации масла с использованием активированных в ЭМП растворов каустической соды и хлористого кальция при влаготепловой обработке мятки, жарении и прессовании мезги. Основные технологические операции указанной технологии приведены на рис. 10.



**Рис.10. Технологические стадии переработки хлопковых семян и частичной рафинации масла в сырье активированными в ЭМП растворами NaOH и CaCl<sub>2</sub>**

Разработка и исследование усовершенствованной технологии предварительной переработки хлопковых семян путем частичной рафинации масла в мятке воздействием активированным в ЭМП раствором каустической соды позволили изучить основные изменения, происходящие в химическом составе и качестве промежуточных и конечных продуктов. Результаты исследования позволили установить механизмы химических превращений и кинетические изменения в ходе осуществления технологических процессов.

### **3.1. Инфракрасная обработка высокоопушенных семян хлопчатника**

Исследована принципиально новая технология частичного удаления (снятия) остаточного волокна (пуха и подпушки) из высокоопушенных хлопковых семян в условиях масложирового предприятия. Для этого использована технология предварительного электрофизического воздействия на воздушном потоке сырья при сушки и кондиционировании хлопковых семян по влажности.

Сущность рекомендуемого электрофизического воздействия заключалось в частичном сжигании остаточного поверхностного пуха семян с использованием ИК-термической обработки.

Уровень температуры и продолжительность ИК-обработки семян устанавливалось опытным путем в зависимости от значения исходной опушенности масличного сырья. Снижение опушенности высокоопушенных семян хлопчатника осуществлялось до уровня 8...11 % (то есть на 3...5 %). Обработанные таким образом семена хлопчатника подвергались к дальнейшей технологической переработке действующими на практике масложирового производства типовыми схемами извлечения растительного масла.

В табл.6. приведены сравнительные результаты переработки высокоопушенных хлопковых семян в обычных производственных условиях и рекомендуемым способом.

Таблица 6

**Сравнительные технологические показатели извлечения растительного масла из высокоопушенных (12...16 %) хлопковых семян**

Показатели	Технология извлечения масла	
	Традиционная	Рекомендуемая
Масличность сырья, %	18,2	18,2
Сырьевые потери, %	2,5	1,6
Выход масла, %	16,4	17,3
Технологические потери, %	1,8	0,9

Как видно из данных табл.6, рекомендуемая технология обеспечивает ресурсосбережение при извлечении растительного масла из масличных семян хлопчатника с высокой опушенностью. Новая технология позволяет снизить потери масличной пыли излишними пухами и подпушками сырья. Это приводит к получению дополнительного экономического эффекта в условиях производства.

В работе также были исследованы некоторые закономерности влаго- и термовлагопроводности семян хлопчатника при предварительной ИК - обработке сырья.

Влагопроводность является частным случаем, с одной стороны, массопроводности, с другой потенциалопроводности.

Под термовлагопроводностью понимается свойство данного тела (переносить внутри себя) влагу под влиянием градиента температуры. Термовлагопроводность является частным случаем термомассопроводности в том смысле, что переносится именно вода. Коэффициент термовлагопроводности, или термоградиентный коэффициент, численно равен перепаду влажности при перепаде температуры на один градус при условии, что общий поток вещества, обусловленный влаго- и термовлагопроводностью, равен нулю. Размерность коэффициента термовлагопроводности 1/град или %/град.

Явления влаго- и термовлагопроводности наблюдаются в самых различных технологических процессах производства растительных масел:

при сушке (в том числе при ИК - обработки сырья) и увлажнении семян, увлажнении мяток, жаренье мезги, отгонке растворителя из шрота и некоторых других. Однако они изучены на материалах производства растительных масел с предварительной обработкой масличного сырья ИК - излучением совершенно недостаточно. Данные по коэффициентам потенциало - и теплопроводности были получены в связи с проблемой предварительной ИК - обработки хлопковых семян с целью снижения определенного содержания остаточного волокна из поверхности сырья. Экспериментальные данные зависимостей коэффициента потенциалопроводности от изменения влажности материала при ИК - обработке приведены на рис.11.

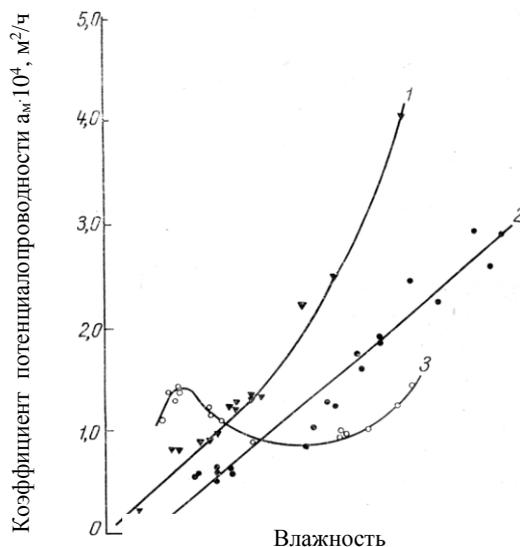


Рис.11. Зависимость коэффициента потенциалопроводности от влажности материала

1- семена, 2- ядро, 3-шелуха.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что коэффициент потенциалопроводности зависит от влажности материала и температуры ИК-обработки.

Зависимость этого коэффициента от влажности для семян, ядра и шелухи различна (рис.11.). Коэффициент потенциалопроводности семян и шелухи с увеличением влажности сильно возрастает. Для ядра зависимость

имеет сложный вид, характерный для коллоидных тел. Обычно вид зависимости коэффициента потенцилопроводности от влажности определяется формой связи влаги и механизмом переноса ее внутри материала.

Экспериментальные данные по зависимости коэффициента потенцилопроводности масличных семян от температуры неизвестен. Однако, по аналогии с другими материалами можно считать, что зависимость эта прямая.

Коэффициент термовлагопроводности также зависит от влажности материала (рис.12.) и температуры. Для хлопковых семян, предварительно обработанных ИК - излучением, как для ядра и шелухи, кривые обладают максимумом, что связывается с границей между адсорбционно-связанной и свободной влагой.

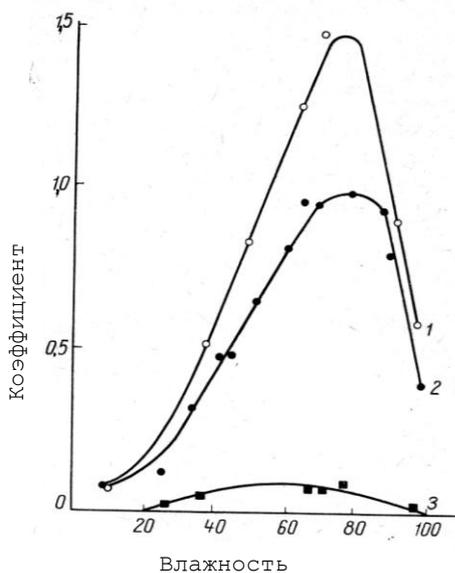


Рис.12. Зависимость коэффициента термовлагопроводности от влажности материала  
1- семена, 2- ядро, 3-шелуха.

В области практически важных влажностей, встречающихся в реальных процессах сушки (в том числе с ИК - излучением семян) и увлажнения, величина коэффициента термовлагопроводности семян и шелухи относительно невелика. При определенной влажности, коэффициент термовлагопроводности обращается в нуль и даже может стать отрицательной величиной. При отрицательных значениях коэффициента

термовлагопроводности влагосодержание тела существенно не изменяется за счет действия градиента температуры, поскольку происходит перераспределение концентрации, что не может оказать большого влияния на содержание жидкости.

Если влажность очень велика, коэффициент термовлагопроводности также обращается в нуль. Это объясняется тем, что когда все капилляры заполнены жидкостью, перестает проявляться проталкивание жидкости в направлении потока тепла расширяющимся при нагреве заземленным воздухом. При высоких влажностях материала именно в этом состоит механизм переноса влаги под влиянием градиента температуры.

С повышением температуры коэффициент термовлагопроводности уменьшается.

Проведенные исследования зависимости коэффициента термовлагопроводности от ряда факторов позволили характеризовать хлопковые семена и их составные части как капиллярно-пористые и коллоидные материалы.

В зависимости от опущенности хлопковых семян в них преобладают свойства капиллярно-пористых (опущенность выше 6 %) или коллоидных (опущенность ниже 2 %) тел.

Таким образом применение способов предварительного снижения избыточного содержания пуха и подпушки из высокоопушенных масличных семян хлопчатника путем использования методов электрофизического (ИК-обработка) воздействия на сырье обеспечивает ресурсосбережение, снижает потери и затраты в производстве.

### **3.2. Исследование технологии экстракции**

Исследовано влияние концентрации раствора каустической соды в процессе влаго-тепловой обработки мятки высококислотных семян хлопчатника на показатели качества (кислотное число, содержание госсипола и фосфатидов) получаемого черного прессового масла. С этой целью исследования проводились с партиями хлопковых семян, имеющих

средние кислотные числа масла в семенах в пределах от 6 мг КОН/г до 14 мг КОН/г. В исследованиях использован активированный в ЭМП напряженностью 1,6 А/м раствор каустической соды. Изучено влияние концентрации каустической соды на снижение кислотного числа масла в мятке в процессе частичной рафинации. Исследованию подвергались партии хлопковых семян со средним кислотным числом масла в них 4, 6, 8, 10, 12 и 14 мг КОН/г. Результатами проведенных исследований установлено, что с повышением концентрации каустической соды происходит снижение кислотного числа масла в мятке. Интенсивное снижение кислотного числа наблюдается до концентрации раствора каустической соды в пределах 5...15 %, дальнейшее повышение концентрации раствора каустической соды сопровождалось наличием натриевых мыл в масле.

Наиболее интенсивное снижение кислотного числа в частично рафинированном масле при обработке каустической содой (концентрация 10 %) наблюдается при напряженности ЭМП поля равной 1,6 А/м. Аналогичные исследования были проведены с целью получения сравнительных данных по частичной рафинации масла в сырье без и с использованием способа ЭМП обработки щелочного раствора. В обоих случаях проведения технологических процессов наблюдается снижение кислотного числа в частично рафинированном масле. Однако, использование ЭМП обработки раствора соды ускоряет процесс и увеличивает степень снижения кислотного числа в сырье. При обработке мятки семян хлопчатника с высоким кислотным числом масла в сырье, активированным раствором каустической соды происходит снижение содержания свободного госсипола в черном прессовом масле. Наиболее высокое снижение содержания свободного госсипола наблюдается до концентрации каустической соды 10 %, дальнейшее увеличение концентрации соды практически не влияет на снижение содержания свободного госсипола в черном масле при переработке хлопковых семян с кислотным числом масла в сырье, равным 12 и 14 мг КОН/г.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о том, что свободный госсипол, находящийся в составе черного хлопкового масла, реагирует с каустической содой, образуя при этом госсиполат натрия.

### **3.3. Новые разработки в технологии переработки высокоопушенных семян хлопчатника**

В масложировых предприятиях нашей страны для извлечения растительного масла должны быть подвергнуты к переработке хлопковые семена стандартного качества, соответствующие в регламентируемых действующих документах (табл.7).

**Таблица 7**

#### **Характеристика показателей семян хлопчатника (TSh РУз - 2004 г)**

Сорность семян	Показатели качества				
	Влажность, %	Опушенность, %	Засоренность, %	Масличность, %	К.ч. масла в семенах, мг КОН/г
I- II	7,8	7,6	1,8	19,9	6,0
I- II	11,0	8,5	2,5	18,2	6,7
III-IV	12,6	10,5	14,7	17,0	8,4
Нестандартные	14,0	12,5	20,4	14,5	14,0

Однако, в большинстве случаев после съема хлопкового волокна из хлопчатника на хлопкоочистительных предприятиях на поверхности семян остается еще значительное количество короткого хлопкового волокна в виде пуха и подпушки. Содержание пуха и подпушки на семенах поступающих на масложировые предприятия, выраженное в процентах от массы семян, называют опушенностью. У средневолокнистых сортов семян она должна быть в пределах 8...11 %.

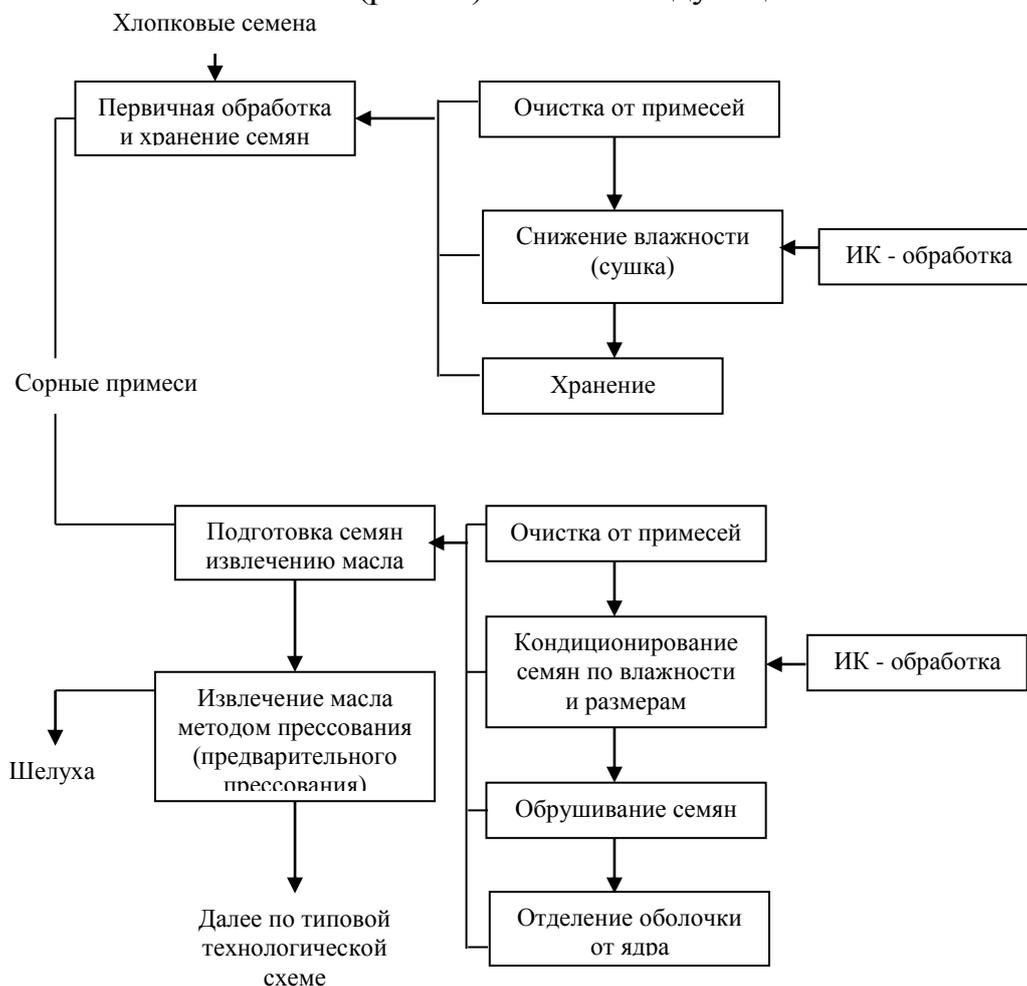
На практике масложирового производства в последние годы наблюдается переработка значительного количества высокоопушенных (11...16%) семян хлопчатника. Это связано с материально - технологическими потерями в условиях производства, низким выходом сырого хлопкового масла и другими. В связи с этим необходимо предварительное снятие избыточного пуха и подпушки из хлопковых семян, подвергаемых к извлечению масла. На хлопкоочистительных предприятиях

практикуется снятие остаточного пуха путем установки аппаратов линтирования, которые также связаны с дополнительными затратами и потерями в производстве.

Учитывая вышеизложенных в работе исследована принципиально новая технология частичного удаления (снятия) остаточного волокна (пуха и подпушки) из высокоопушенных хлопковых семян в условиях масложирового предприятия. Для этого использована технология предварительного электрофизического воздействия на воздушном потоке сырья при сушки и кондиционировании хлопковых семян по влажности.

Сущность рекомендуемого электрофизического воздействия заключалось в частичном сжигании остаточного поверхностного пуха семян с использованием ИК-термической обработки.

Предварительные технологические стадии подготовки семян к извлечению масла состояли (рис.13) из нижеследующих:



**Рис.13. Технологические стадии предварительной обработки хлопковых семян**

Уровень температуры и продолжительность ИК-обработки семян устанавливалось опытным путем в зависимости от значения исходной опушенности масличного сырья. Снижение опушенности высокоопушенных семян хлопчатника осуществлялось до уровня 8...11 % (то есть на 3...5 %). Обработанные таким образом семена хлопчатника подвергались к дальнейшей технологической переработке действующими на практике масложирового производства типовыми схемами извлечения растительного масла.

В табл.8. приведены сравнительные результаты переработки высокоопушенных хлопковых семян в обычных производственных условиях и рекомендуемым способом.

**Таблица 8**

**Сравнительные технологические показатели извлечения растительного масла из высокоопушенных (12...16 %) хлопковых семян**

Показатели	Технология извлечения масла	
	Традиционная	Рекомендуемая
Масличность сырья, %	18,2	18,2
Сырьевые потери, %	2,5	1,6
Выход масла, %	16,4	17,3
Технологические потери, %	1,8	0,9

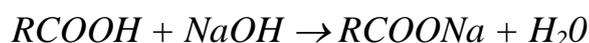
Как видно из данных табл.8, рекомендуемая технология обеспечивает ресурсосбережение при извлечении растительного масла из масличных семян хлопчатника с высокой опушенностью. Новая технология позволяет снизить потери масличной пыли излишними пухами и подпушками сырья. Это приводит к получению дополнительного экономического эффекта в условиях производства.

Таким образом применение способов предварительного снижения избыточного содержания пуха и подпушки из высокоопушенных масличных семян хлопчатника путем использования методов электрофизического (ИК-обработка) воздействия на сырье обеспечивает ресурсосбережение, снижает потери и затраты в производстве.

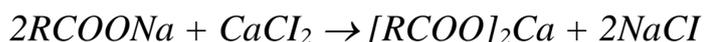
### 3.4. Установление основных химических превращений

Необходимо отметить, что технологический процесс частичной рафинации масла в мятке с использованием активированных в ЭМП растворов состоит из двух основных этапов:

а) нейтрализация свободных жирных кислот в мятке раствором каустической соды:



б) перевод образовавшихся натриевых солей жирных кислот (натриевых мыл) в кальцевые с помощью раствора хлористого кальция:



Для осуществления экспериментов в лабораторных и опытно-производственных условиях необходимое количество каустической соды рассчитывалось (в пересчете на олеиновую кислоту) по формуле [21]:

$$A_{теор} = 0,0095 \cdot M \cdot \Delta K; \quad (30)$$

$$A_{прак} = 0,0095 \cdot M \cdot \Delta K \cdot K; \quad (31)$$

где  $A$  - расход каустической соды, кг;

$M$  - масличность мятки, %;

$K$  – коэффициент, учитывающий подбор раствора щелочи с учетом исходного кислотного числа масла в мятке. Этот коэффициент определяется опытным путем и составляет:

- для мятки из семян с кислотным числом масла более 5 мг КОН/г в пределах 5,0...7,0;

- для мятки из семян с кислотным числом масла до 5 мг КОН/г в пределах 2,5...3,0;

$\Delta K$  – желательное снижение кислотного числа вырабатываемого масла, мг КОН/г.

Коэффициент ( $K$ ) вводится для того, чтобы учесть то количество каустической соды, которое расходуется на взаимодействие с другими веществами, например, с госсиполом, фосфатидами и др.

Для перевода образовавшихся натриевых солей жирных кислот в кальцевые соли необходимое количество раствора хлористого кальция определялось по формуле [18-21]:

$$P_K = \frac{M \cdot 0,183 \cdot K}{y} \cdot 100 \quad (32)$$

В период проведения экспериментов проводили регулярный контроль за температурой, влажностью мятки, кислотным числом масла в мятке и вырабатываемого форпрессового масла.

### **3.5. Изучение основных химических и качественных изменений при частичной рафинации масла в мятке активированными в ЭМП растворами**

Исследовали влияние концентрации раствора каустической соды в процессе влаготепловой обработки мятки высококислотных семян хлопчатника на изменение содержания основных химически составляющих компонентов получаемого сырого прессового масла. С этой целью исследования проводили с партиями хлопковых семян, имеющими средние кислотные числа масла в семенах в пределах 6,0-14 мг КОН/г.

В исследованиях использован активированный в ЭМП напряженностью 1,6 А/м раствор каустической соды. Выбор такого значения напряженности не был случайным, так как во многих литературных источниках такое значение напряженности ЭМП поля позволило максимально интенсифицировать технологические процессы в пищевом производстве.

Частичную рафинацию масла в мятке осуществляли в опытно-производственных условиях АООТ «Бухоро ёғ» на примере одного прессового агрегата путем обработки хлопковой мятки в пропарочно-увлажнительном шнеке раствором каустической соды, подогретым до 80...85°C. Затем образовавшиеся натриевые мыла переводились в кальциевые соли путем подачи в мятку 15 %-ного раствора активированного в ЭМП хлористого кальция в первый чан жаровни в производственных условиях.

Раствор каустической соды подавался до повышения влажности мятки на 3,0...3,5 % от его первоначальной величины 9,6 %.

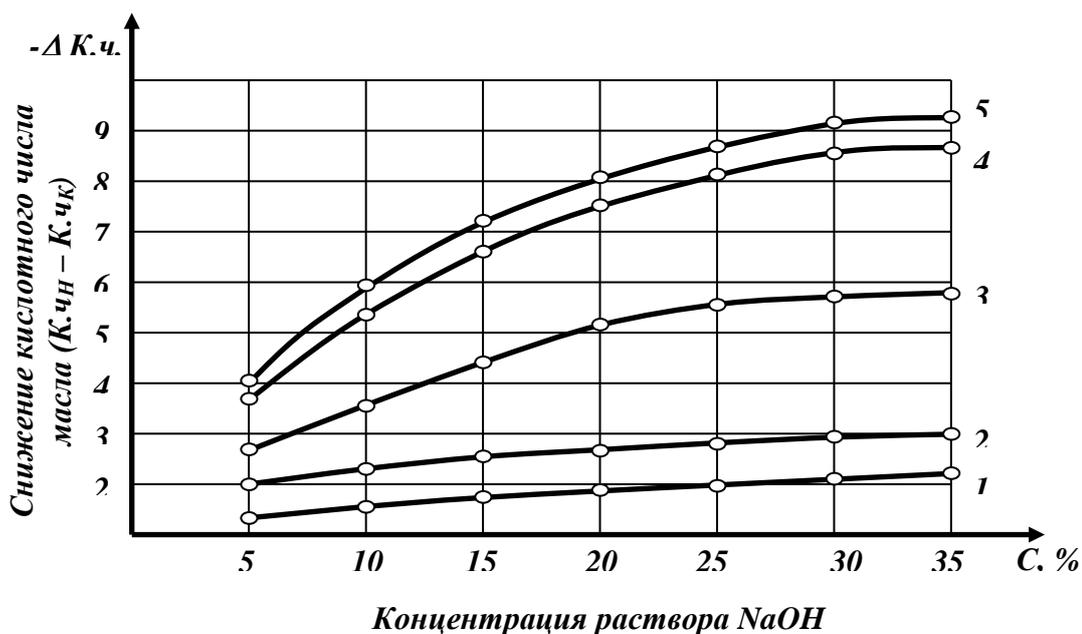
Изучено влияние концентрации каустической соды на снижение кислотного числа масла в мятке в процессе его частичной рафинации. Исследовали партии хлопковых семян со средним кислотным числом масла в них 4, 6, 8, 10, 12 и 14 мг КОН/г. Исследования проводили в условиях, когда количество раствора каустической соды во всех случаях было постоянным, а концентрация соды в растворе разной. Результаты исследования по снижению кислотного числа масла в мятке в процессе частичной рафинации

приведены на рис. 14.

Как видно из данных, приведенных на рис. 14, с повышением концентрации каустической соды происходит снижение кислотного числа масла в мятке. Интенсивное снижение кислотного числа наблюдалось до концентрации раствора каустической соды в пределах 5...15 %.

Исследованиями установлено, что с увеличением концентрации вводимой каустической соды более 15 % наблюдалось явление снижения кислотного числа до минимального уровня с образованием мыла, которое переходило в пресловое масло, за счет чего ухудшалось качество последнего. Поэтому для соблюдения соответствующих технологических режимов в дальнейших исследованиях и испытаниях процесса частичной рафинации масла концентрация каустической соды не превышала 15 %.

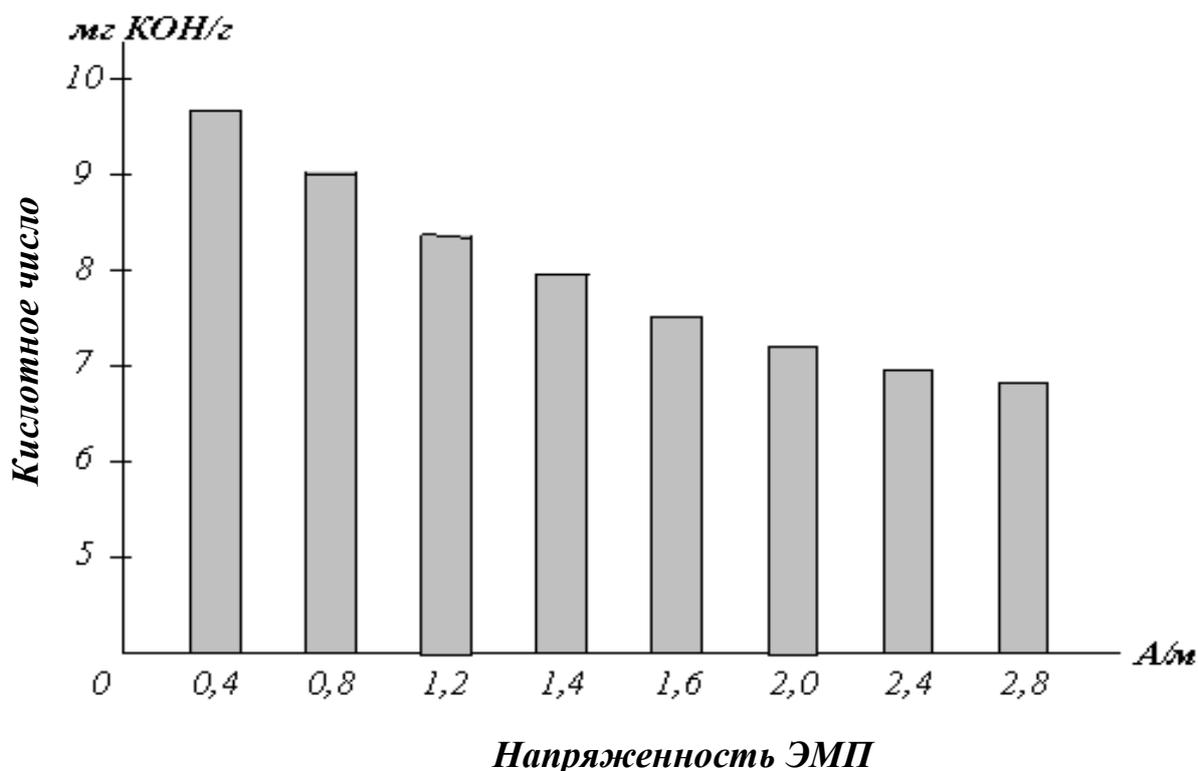
Наибольшее снижение кислотного масла в частично рафинированном масле в различных образцах исходного сырья с различным кислотным числом масла наблюдается при концентрации раствора каустической соды 10 %. В связи с этим исследовали влияние напряженности ЭМП на снижение кислотного числа в частично рафинированном масле. Исследования проводили с использованием хлопковых семян с кислотным числом масла в сырье 10,0 мг КОН/г. Результаты исследований приведены на рис. 15.



**Рис.14. Влияние концентрации каустической соды на снижение кислотного числа масла в мятке в процессе частичной рафинации.**

*Исходное кислотное число масла в семенах:*

1. К.ч. = 4 мг КОН/г,
2. К.ч. = 6 мг КОН/г,
3. К.ч. = 10 мг КОН/г,
4. К.ч. = 12 мг КОН/г,
5. К.ч. = 14 мг КОН/г



***Рис.15. Зависимость снижения кислотного числа частично рафинированного масла от напряженности ЭМП.***

Как видно из данных рис.15 наиболее интенсивное снижение кислотного числа в частично рафинированном масле наблюдается при обработке каустической соды (концентрация 10 %) при напряженности ЭМП поля, равной 1,6 А/м, что согласуется с литературными данными. Учитывая это, дальнейшие исследования по активации щелочного раствора проводили при напряжении ЭМП 1,6 А/м.

Аналогичные исследования были проведены с целью получения сравнительных данных по частичной рафинации масла в сырье без и с использованием способа ЭМП обработки щелочного раствора. Исследовали два образца сырья с различными исходными кислотными числами в мятке. Результаты исследования приведены в табл.9.

**Сравнительные результаты снижения кислотного числа в частично рафинированном масле в сырье\***

Напряженность ЭМП, А/м	Кислотное число масла, мг КОН/г			
	Образец 1		Образец 2	
	без обработки в ЭМП	с обработкой в ЭМП	без обработки в ЭМП	с обработкой в ЭМП
0	4,4	4,4	9,2	9,2
0,4	4,0	3,7	6,6	6,3
0,8	3,8	3,4	6,2	5,8
1,2	3,5	3,0	5,7	5,1
1,6	3,0	2,4	4,8	4,2
2,0	2,8	2,2	4,6	3,9
2,4	2,7	2,2	4,4	3,8

\*Исходное кислотное число масла в исследованных образцах мятки:

1- 4,4 мг КОН/г; 2 – 9,2 мг КОН/г

Как видно из данных, в обоих случаях наблюдается снижение кислотного числа в частично рафинированном масле. Однако использование ЭМ обработки раствора соды ускоряет процесс и увеличивает степень снижения кислотного числа в сырье. Наилучшие положительные результаты получены при напряженности ЭМП 1,6 А/м. Необходимо, отметить, что в сырье с высоким кислотным числом масла наблюдается снижение кислотного числа в частично рафинированном масле почти в два раза. Это важно для промышленной организации технологии частичной рафинации масла в мятке в условиях прессовых заводов.

На процесс снижения кислотного числа в частично рафинированном масле одновременно с концентрацией каустической соды определенное влияние оказывает температура её нагрева. Поэтому мы изучили влияние температуры (60...95<sup>0</sup>С) активированного раствора каустической соды при концентрации 10 % на снижение кислотного числа частично рафинированных масел из хлопковых семян с исходным кислотным числом масла в сырье 8...12 мг КОН/г. Исследования проводили в лабораторных и опытно-производственных условиях.

Выбор указанного предела температуры (60...95<sup>0</sup>С) связан с тем, что при низких температурах раствора соды (менее 60<sup>0</sup>С) реакция будет протекать менее интенсивно, что приводит к незначительному снижению

кислотного числа частично рафинированного в сырье масла. Повышение температуры раствора соды до 95<sup>0</sup>С ускоряло процесс денатурации белковых веществ в мятке, что нежелательно для кормового жмыха.

Полученные данные по влиянию температуры на снижение кислотного числа масла в сырье приведены в табл.10.

Таблица 10.

**Влияние температуры активированного раствора каустической соды на снижение кислотного числа частично рафинированного масла**

№ п/п	Температура раствора соды, °С	Кислотное число масла в сырье, мг КОН/г			
		8,0		12,0	
		К.ч. частично рафинированного масла	Разность, Δ К.ч.	К.ч. частично рафинированного масла	Разность, Δ К.ч.
1	60	6,6	1,4	10,0	2,0
2	65	5,2	2,8	9,1	2,9
3	70	4,7	3,3	8,0	4,0
4	75	4,0	4,0	7,2	4,8
5	80	3,6	4,4	6,7	5,3
6	85	3,2	4,8	6,5	5,5
7	90	3,0	5,0	5,4	6,6
8	95	2,9	5,1	5,0	7,0

Как видно из данных, повышение температуры раствора каустической соды 70-90<sup>0</sup>С положительно влияет на снижение кислотного числа масла в мятке, но отрицательно влияет на качество жмыха (см.далее).

Серия исследований проводилась с целью изучения влияния концентрации активированного раствора соды на снижение кислотного числа масла в мятке при переработке различных партий хлопковых семян, отличающихся по основным показателям (среднее кислотное число масла в сырье колебалось в пределах 6,0-14,0 мг КОН/г).

Результаты приведены на рис. 16. Концентрация растворов колебалось в пределах 5,0-15,0 %.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что воздействие на сырье в процессе влаготепловой обработки раствора активированной каустической соды приводит к снижению кислотного числа масла в мятке. Наиболее интенсивное снижение кислотного числа масла в сырье наблюдается при

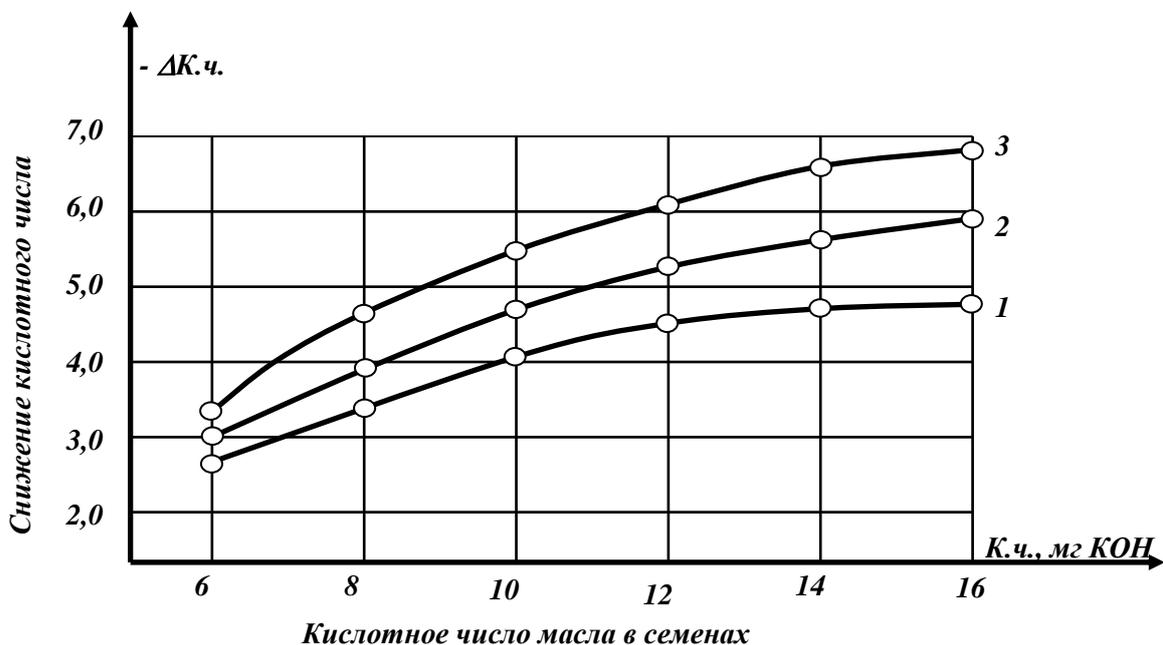
переработке семян с высокими исходным и кислотными числами масла. Так, например, снижение кислотного числа масла в сырье при обработке ее активированным раствором каустической соды с концентрацией в пределах 5...15% наблюдается от 4,6 до 6,7 мг КОН/г. При переработке хлопковых семян со средним исходным кислотным числом масла 6 мг КОН/г снижение кислотного числа не превышает от 2,7 до 3,1 мг КОН/г от первоначального значения этого показателя.

Изучено влияние длительности контакта раствора каустической соды (концентрация 10 %, температура 25<sup>0</sup>С) с мяткой на снижение кислотного числа масла. Исследования проводились в лабораторных условиях путем перемешивания мятки с раствором активированной каустической соды в течение 2, 4, 6,....16 мин с последующей обработкой сырья активированным раствором хлористого кальция. Данные приведены в табл.11.

Таблица 11.

**Влияние продолжительности контакта раствора каустической соды с сырьем на снижение кислотного числа масла**

№ п/п	Длительность контакта, мин	Кислотное число масла в сырье, мг КОН/г			
		8,0		12,0	
		К.ч. частично рафинированного масла	Разность, Δ К.ч.	К.ч. частично рафинированного масла	Разность, Δ К.ч.
1	2	7,7	0,3	11,0	1,0
2	4	7,0	1,0	10,0	2,0
3	6	6,5	1,5	9,1	2,9
4	8	6,0	2,0	8,0	4,0
5	10	4,5	3,5	7,1	4,9
6	12	4,0	4,0	6,2	5,8
7	14	3,4	4,6	5,8	6,2
8	16	3,1	4,9	5,6	6,4



**Рис. 16. Влияние концентрации раствора каустической соды на снижение кислотного числа частично рафинированного масла в сырье.**

Концентрация NaOH: 1 - 5%; 2 – 10%; 3 – 15%;

Как видно из данных табл.11, длительность контакта раствора с сырьем также является существенным технологическим фактором, влияющим на снижение кислотного числа масла в мятке. При контакте 2...4 мин практически не происходит интенсивного снижения кислотного числа, наиболее высокий уровень снижения кислотного числа наблюдается при длительности контакта 12 мин, дальнейшее увеличение времени контакта незначительно снижает кислотное число. Поэтому дальнейшие исследования проводились при взаимодействии свободных жирных кислот сырья с раствором каустической соды в течение не более 12 мин.

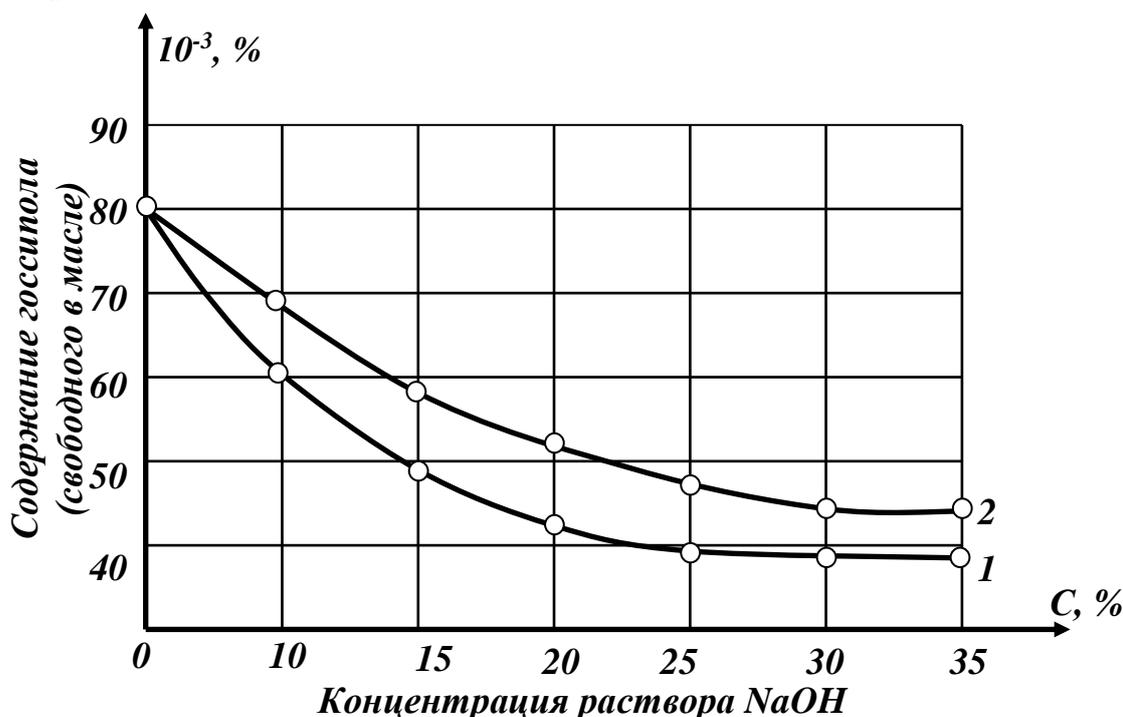
Наряду со снижением кислотного числа масла в мятке при обработке ее активированным раствором соды различной концентрации наблюдается и снижение количества свободного госсипола в частично рафинированном масле (рис.17 и табл.12.).

Данные табл. 7. свидетельствуют о том, что с повышением концентрации наблюдается снижение содержания нативного госсипола в сыром масле до его полного исчезновения при концентрации щелочи 9 % (с обработкой в ЭМП) и 15 % (без обработки в ЭМП).

**Изменение содержания свободного госсипола в частично рафинированном масле в сырье в зависимости от концентрации раствора соды**

Концентрация раствора соды, %	Содержание свободного госсипола, %	
	без обработки	с обработкой в ЭМП Н=1,6 А/м
0 (контроль)	0,370	0,370
3	0,210	0,113
6	0,090	0,047
9	0,037	0
12	0,009	-
15	0	-

Как видно из кривых, приведенных на рис. 17, при обработке мятки семян хлопчатника с высоким кислотным числом масла в сырье, обработанным активированным раствором каустической соды, происходит снижение содержания свободного госсипола в сыром прессовом масле. Наиболее высокое его снижение наблюдается до концентрации каустической соды 10 %, дальнейшее увеличение концентрации соды практически не влияет на снижение содержания свободного госсипола в сыром масле при переработке партий хлопковых семян со средним кислотным числом масла в сырье, равным 12 и 14 мг КОН/г.



**Рис.17. Снижение количества свободного госсипола в частично рафинированном масле с активированным раствором щелочи.**

1. К.ч. = 12,0 мг/КОН/г

2. К.ч. = 14 мг/КОН/г

Таким образом, проведенные исследования подтвердили факт о том, что свободный госсипол, находящийся в составе сырого хлопкового масла, реагирует с каустической содой, образуя при этом госсиполат натрия.

Изучение влияния концентрации (5-15 %) раствора каустической соды на снижение содержания фосфатидов в сыром масле проводилось при переработке семян со средним кислотным числом сырого масла в сырье, равным 12 и 14 мг КОН/г. Изменения содержания фосфатидов в сыром пресловом масле в процессе частичной рафинации масла в сырье в зависимости от концентрации раствора каустической соды представлены на рис. 18 и табл.13.

Из приведенных на рис.15 данных видно, что максимальное выведение госсипола происходит при концентрации раствора каустической соды, равной 10 %.

Влияние напряженности (0,4...2,4 А/м) ЭМП на изменение содержания фосфатидов в сыром пресловом масле в процессе частичной его рафинации в сырье представлено в табл.13.

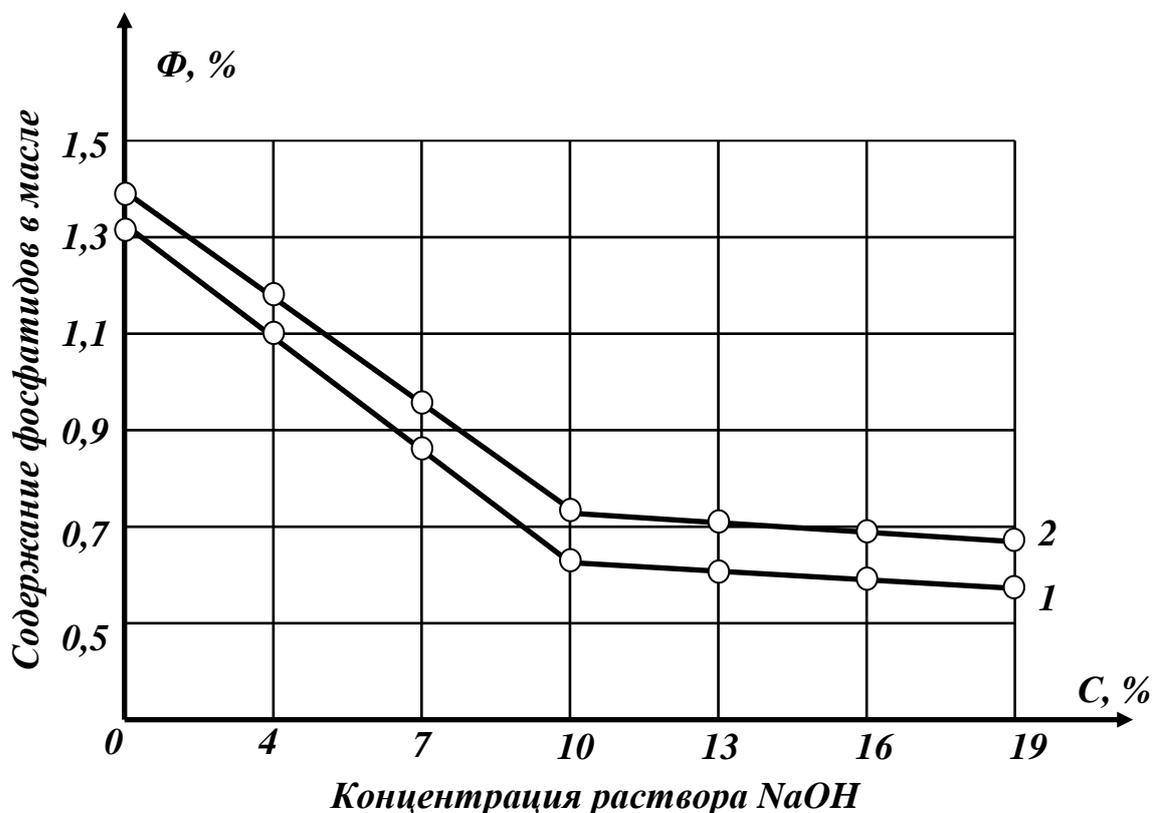
Таблица 13.

***Влияние напряженности магнитного поля на содержание фосфатидов в частично рафинированном масле***

Напряженность электромагнитного поля, А/м	Содержание фосфатидов, %
0 (контроль)	1,32
0,4	0,95
0,8	0,80
1,2	0,59
1,6	0,30
2,0	0,27
2,4	0,25

Как видно из данных табл.13, интенсивное снижение содержания фосфатидов происходит при напряженности ЭМП 1,6 А/м, дальнейшее её повышение практически не влияет на снижение количества фосфатидов.

Снижение содержания фосфатидов объясняется, по-видимому, за счет гидратации последних в присутствии воды, содержащейся в растворе активированной каустической соды [17,22].



**Рис. 18.** Изменение содержания фосфатидов в сыром прессовом масле в процессе его частичной рафинации масла в сырье.

1. К.ч. = 12,0 мг/КОН/г
2. К.ч. = 14 мг/КОН/г

Таким образом установлено, что обработка хлопковой мятки в пропарочно-увлажнительном шнеке или в жаровне активированными в ЭМП с растворами каустической соды и хлористого кальция при переработке семян хлопчатника с высоким кислотным числом масла в сырье приводит к снижению кислотного числа, содержания свободного госсипола и фосфатидов в сыром форпрессовом масле.

Ниже (табл.14 и 15) приведены средние показатели качества сырых прессовых масел, полученных путем частичной рафинации масла в сырье. Для сравнения полученных результатов в соответствующих таблицах приведены также показатели сырых прессовых масел, полученных при переработки масличных семян хлопчатника в условиях АООТ «Когон-ёг» (табл.15).

Таблица 14.

**Показатели качества частично рафинированных в сырье масел (среднее кислотное число масла в семенах 3...7 мг КОН/г)**

Показатели качества черного прессового масла	Образец черного масла			
	Исходное К.ч. масла в семенах 3,2		Исходное К.ч. масла в семенах 7,0	
	без обработки в ЭМП	с обработкой в ЭМП, 1,6 А/м	без обработки в ЭМП	с обработкой в ЭМП, 1,6 А/м
Кислотное число сырого масла, мг КОН/г	2,0-2,5	1,7-2,2	2,6-3,2	2,2-2,8
Цветность кр.ед. при 35 желт.в 1 см.слое	29-35	20-24	35-40	29-33
Содержание фосфатидов, %	0,60-0,65	0,35-0,42	0,63-0,66	0,27-0,30
Содержание свободного госсипола, %	0,20-0,30	0,13-0,17	0,15-0,23	0,07-0,16
Содержание связанного госсипола, %	0,08-0,10	0,05-0,07	0,16-0,19	0,08-0,12

Таблица 15.

**Показатели качества частично рафинированных в сырье масел (среднее кислотное число масла в семенах 8...14 мг КОН/г)\***

Показатели качества черного прессового масла	Образец черного масла			
	Исходное К.ч. масла в семенах 8,6		Исходное К.ч. масла в семенах 14,0	
	без обработки в ЭМП	с обработкой в ЭМП, 1,6 А/м	без обработки в ЭМП	с обработкой в ЭМП, 1,6 А/м
Кислотное число сырого масла, мг КОН/г	4,1-5,2	3,5-4,0	7,0-8,3	6,2-7,1
Цветность кр.ед. при 35 желт.в 1 см.слое	37-42	28-31	40-45	31-37
Содержание фосфатидов, %	0,75-0,77	0,30-0,37	0,80-0,85	0,40-0,42
Содержание свободного госсипола, %	0,13-0,17	0,06-0,08	0,11-0,13	0,07-0,11
Содержание связанного госсипола, %	0,26-0,37	0,12-0,17	0,41-0,48	0,20-0,43

\*) Опытные данные в условиях производства

Данные, приведенные в табл. 14.и 15., свидетельствуют о том, что при переработке семян хлопчатника с различным кислотным числом масла по

схеме частичной рафинации масла в сырье наблюдается заметное улучшение качественных показателей сырых прессовых масел за счет снижения содержания свободных жирных кислот и госсипола. В частности, значительное снижение кислотного числа сырого масла наблюдается при переработке низкосортных (со средним кислотным числом масла 8...12 мг КОН/г) хлопковых семян. Это способствует получению пищевого масла из низкосортных семян.

Технология частичной рафинации масла в сырье активированным раствором каустической соды незначительно влияет также на содержание жирных кислот в триацилглицеридах хлопкового масла (табл. 16).

Таблица 16.

**Влияние активации щелочи на содержание жирных кислот в триацилглицеридах хлопкового масла (К.ч. масла в сырье 14,0 мг КОН/г)**

Жирные кислоты	Без обработки в ЭМП				С обработкой в ЭМП			
	Номера опытов							
	1	2	3	4	1	2	3	4
16:0	22,5	22,0	21,2	22,1	22,5	22,0	21,2	21,1
18:0	3,5	3,0	2,9	2,8	3,2	2,8	2,7	2,7
18:1	21,0	21,4	21,6	21,9	20,4	20,0	20,2	19,6
18:2	53,0	53,6	54,3	55,2	53,9	55,2	55,9	56,6
Σ нас.	26,0	25,0	24,1	23,8	25,7	24,8	2,9	23,8
Σ ненас.	74,0	75,0	75,9	77,1	74,3	75,2	76,1	76,2

Как свидетельствуют данные, приведенные в табл.16, частичные изменения в триацилглицеридах масла происходят в содержании ди- и мононенасыщенных жирных кислот и стеариновой кислоты.

**3.6. Изменение показателей жмыхов в процессе экстракции**

Технология частичной рафинации масла в процессе влаготепловой обработки и жарения сырья влияет также на качественные показатели жмыхов, полученных при прессовании.

Исследование влияния процессов частичной рафинации масла в сырье на показатели качества получаемых жмыхов проводили при переработке хлопковых семян разного качества и сортности.

Исследования проводили в оптимальных технологических режимах, установленных многочисленными лабораторными и опытно-

производственными испытаниями рекомендуемой технологии.

Качественные показатели контрольных (без обработки с NaOH и CaCl<sub>2</sub>) и опытных (с обработкой активированных в ЭМП NaOH и CaCl<sub>2</sub>) образцов жмыхов, полученных при переработке семян хлопчатника разного качества, представлены в табл.17.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что содержание свободного госсипола в опытных образцах жмыхов снизилось почти в два раза по сравнению с контрольными образцами, что объясняется переходом его в соединения госсипола (госсиполат кальция).

Известно, что наличие кальциевых солей жирных кислот в хлопковых жмыхах повышает их кормовые свойства.

Работами ВНИИЖиров, а также некоторых сельскохозяйственных институтов нашей страны установлено, что кальциевые соли жирных кислот по кормовой ценности равнозначны кормовым животным жирам, то есть наличие кальциевых солей жирных кислот в жмыхе повышает его кормовую ценность. Поэтому использование технологии частичной рафинации масла в мятке наряду с повышением качества сырого прессового масла позволяет до некоторой степени увеличивать кормовые достоинства жмыхов.

Таблица 17

**Качественные характеристики хлопковых жмыхов, полученных по рекомендуемой технологии при переработке хлопковых семян разного качества**

Сорт хлопковых семян	Показатели качества жмыхов					
	контроль без обработки растворами			с обработкой активированными растворами		
	содержание свободного госсипола, %	наличие натриевых мыл (качественно)	наличие кальциевых мыл (качественно)	содержание свободного госсипола, %	наличие натриевых мыл (качественно)	наличие кальциевых мыл (качественно)
I - II	0,025	-	-	0,008	отс.	+
III - IV	0,017	-	-	0,011	отс.	+

## ОБЩИЕ ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Изучение особенностей химического состава и качества низкосортных и нестандартных масличных семян хлопчатника позволили определить основные направления усовершенствования технологии их переработки с целью получения рафинированного масла высокого качества.

– Изучено особенности химического состава и качества масличных семян хлопчатника.

– Анализирована и оценена действующие технологии извлечения масла из масличных семян хлопчатника разного качества и рафинации сырого масла, полученного из них.

– Определена возможности совершенствования технологии экстракции ракушки хлопковых семян с использованием новых способов, повышено качество и улучшено состав рафинированных хлопковых масел, в том числе частичной рафинации масла в мятке на стадии маслодобывания.

## ВЫВОДЫ

1. Определены оптимальные технологические режимы экстракции ракушки хлопковых семян с новыми способами;
2. Разработаны принципиально новые способы экстракции маслосодержащего сырья, в результате чего, достигнуто повышение качества, снижение энергетических и материально технологических расходов;
3. Для оценки степени экстракции маслосодержащего сырья, установлена зависимость выхода масла от технологических параметров процесса, количества и соотношения гидромодуля;
4. Для установления оптимальных технологических режимов использованы современные методы оптимизации;
5. Новые технологические разработки прошли опытно производственные испытания, достигнуто увеличение выхода растительного масла и получение расчетным способом определенного количества экономического эффекта.
6. Определены оптимальные значения напряженности электромагнитного поля обработки сырья. Путем выведения нежелательных сопутствующих маслу веществ достигнуто улучшение химического состава и качества частично и окончательно рафинированного масла с использованием рекомендуемой усовершенствованной технологии.
7. Установлены способы экстракции и режимы экстрагирования ракушки хлопковых семян с использованием методов предварительной электрофизической обработки сырья (ракушки), в частности с использованием электромагнитного поля (ЭМП) при переработке семян хлопчатника.
8. Результаты новых научно технологических разработок в направлении совершенствования технологии экстракции ракушки хлопковых семян прошли опытно производственные испытания.

9. Результаты экстракции хлопковой ракушки с использованием методов предварительной электрофизической обработки сырья (ракушки), в частности с использованием электромагнитного поля (ЭМП) при переработке семян хлопчатника апробированы в условиях АООТ «Когон ёғ».
10. Результаты научных и практических исследований используются в учебном процессе при подготовке инженеров по технологии жиров, а также в промышленной практике первичной переработки семян хлопчатника и в технологии рафинации масла.
11. Результаты научно-практических исследований обсуждены и доложены на научно-теоретических и практических конференциях профессорско-преподавательского состава Бухарского инженерно-технического института высоких технологий (Бухара, 2011-2013 гг).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копейковский В.М., Данильчук С.И., Гарбузова Г.И. и др. Технология производства растительных масел.-М.: Легкая и пищевая промышленность,1982.-252 с.
2. Щербаков В.Г. Биохимия и товароведение масличного сырья.- М.:Агропромиздат.1991.-356 с.
3. Щербаков В.Г. Химия и биохимия масличных семян.-М.:Пищевая промышленность,1977.-184 с.
4. Щербаков В.Г., Иваницкий С.Е. Производство белковых продуктов из масличных семян.-М.:Агропромиздат.1987.-152 с.
5. Щербаков В.Г. Основы управления качеством продукции и технохимический контроль жиров и жирозаменителей.-М.:Агропромиздат,1985.-216 с.
6. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров.-Л.:ВНИИЖ,1975.т.1,кн.1.-726 с.:1974;т.1.кн.2.-592 с.1973.т.2.-350 с.
7. Руководство по методам исследования, технохимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности.- Л.:ВНИИЖ,1967.т.1,кн.1 и 2.-1042с.;1965.т.2.-419с.;
8. Паронян В.Х.,Мазин Ф.И.,Кафиев Н.М. и др.Технология жиров и жирозаменителей.-М.:Легкая т пищевая промышленность,1982.-416 с.
9. Щербаков В.Г. Технология получения растительных масел.-М.:Колос,1982.-207 с.
10. Белобородов В.В. Основные процессы производства растительных масел.-М.:Пищевая промышленность,1966.-478 с.
11. Голдовский А.М. Теоретические основы производства растительных масел.-М.:Л.-446 с.
12. Маркман А.Л.,Ржехин В.П. Госсипол и его производные.-М.:Пищевая промышленность.1965.-244 с.
13. Белобородов В.В.,Мацук Ю.П.,Кириевский Б.Н. и др.Подготовительные процессы переработки масличных семян.-М.:Пищевая промышленность,1974.-338 с.
14. Тютюников Б.Н.,Науменко П.В.,Товбин И.М. и др. Технология переработки жиров.-М.:Пищевая промышленность,-1970.-658 с.
15. Тютюников Б.Н. Химия жиров.-М.:Пищевая промышленность.1974.-448 с.

16. Ахназаров С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической промышленности.-М.:Высшая школа,1978.-319 с.
17. Арутюнян Н.С., Аришева Е.А., Янова Л.И. и др. Технология переработки жиров.-М.:Агропромиздат,1985.-368 с.
18. Руководство по методам исследования, технокимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности.-Л.:ВНИИЖ.-т.3,1964.-482 с.
19. Руководство по методам исследования, технокимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности.-Л.:ВНИИЖ.-т.4,1963.-424 с.
20. Руководство по методам исследования, технокимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности.-Л.:ВНИИЖ.-т.6,1974.-338 с.
21. Арутюнян Н.С., Янова Л.И., Аришева Е.А. Лабораторный практикум по технологии переработки жиров.-М.:Агропромиздат,1991.-160 с.
22. Арутюнян Н.С., Корнена Е.П. Фосфолипиды растительных масел.-М.:Агропромиздат,1986.-256 с.
23. Тютюнников Б.Н., Гладкий Ф.Ф. и др. Химия жиров.-М.:Колос,1992.-448 с.
24. Шмидт А.А. Теоретические основы рафинации растительных масел.-М.:Пищевая промышленность,1960.-340 с.
25. Якименко Л.М., Модыженский И.Д., Ткачук З.А. Электролиз воды.-М.:Химия,1970. -с.
26. Арутюнян Н.С., Корнена Е.П., Янова Л.И. и др. Технология переработки жиров.-М.:Пищепромиздат,1994.-452 с.
27. Виноградова А.А., Мелькина Г.М., Фомичева Л.А. и др. Лабораторный практикум по общей технологии пищевых производств.-М.:Агропромиздат,1991.-335 с.
28. Барковский В.Ф., Горелик С.М., Горденцева Т.Б. Практикум по физико-химическим методам анализа.-М.:-1963.-350 с.
29. Молочко В.А., Крынкина С.В. Химия. Перевод с немецкого языка. -М.: Химия, 1989. – С.276-278
30. Кучеренко Н.Е., Васильев А.П. Липиды. -Киев: -Вища школа.-1985.-247 с.
31. Нечаев А.П., Еременко Т.В. Органическая химия.ч.1,кн.2.-М.:Высшая школа.1985. -182 с.

32. Ржехин В.П. Некоторые нежировые вещества хлопкового, подсолнечного и соевого масел и влияние их на выход и потери масла в производстве растительных масел, при рафинации и мыловарении.-Л.:ВНИИЖ-1952. -115 с.
33. Волотовская С.Н.,Кузнецова Н.В.,Майорова И.Н. Потери при рафинации хлопкового масла //Масло-жировая пром-сть,1980. N 3. -С.25-28.
34. Ржехин В.П. Исследование важнейших химических процессов при переработке масличных семян и некоторые решения в области улучшения использования масличного сырья.-Доклад по совокупности работ на соискание ученой степени докт.техн.наук.-Л.:ВНИИЖ,1964. -42 с.
35. Сергеев А.Г.,Стерлин Б.Я.,Волотовская С.Н. Основные направления технического прогресса в рафинации растительных масел. Сб.научн. трудов ВНИИЖ-Л.:1974,вып.ХХХІІ. -С.3-12.
36. Исмаилов А. Химическое исследование госсипола специфического пигмента хлопчатника.-Автореф.дис.канд.техн.наук -Ташкент,1959.-21 с.
37. Сергеев А.Г. Комплексная переработка семян хлопчатника.-Л.:ВНИИЖ,1961.-22 с.
38. Юнусова С.Г., Гусакова С.Д. Влияние степени зрелости хлопковых семян на липидный состав //Химия природных соединений,1982, N 1. -С.6.
39. Ржехин В.П. Госсипол и его производные.-Л.:ВНИИЖ,1955.-100 с.
40. Маркман А.Л.,Кац Б.А.,Чеботарева А.П. и др. К вопросу повышения масличности семян хлопчатника //Масло-жировая пром-сть,1961, N 5. -С.18.
41. Бабуркина Е.А.,Григорчук Р.Т.,Матвеева Т.А. Изучение условий связывания госсипола и углеводов с белками и фосфатидами //Масло-жировая пром-сть,1987, N 10. -С.5.
42. Григорчук Р.Т.,Скоморохова Е.Е.,Миронова А.Н. и др. О растворимости госсипола в бензиново-масляных мисцеллах //Масло-жировая пром-сть,1979, N 11. -С.11-12.
43. Глушенкова А.И.,Назарова И.П. Определение растворимости госсипола в мисцелле //Химия природных соединений,1983. N 6. -С.775.
44. Маркман А.Л.,Вилькова С.Н. О свойствах госсипола хлопкового масла //Узбекский химический журнал,1969, N 1. -С.63.
45. Маркман А.Л.,Залесов В. Новая качественная реакция на госсипол //Масло-жировая пром-сть,1960, N 3. -С.3.

46. Пусен Ф.А. О выпуске маслозаводами обогащенного хлопкового жмыха и шрота //Маслобойно-жировая пром-сть,1958, N 11. -С.11.
47. Ржехин В.П.,Белова А.Б. К изучению взаимодействия госсипола с аминокислотой (антраниловой) кислотой //Журнал прикладной химии, 1961,т. XXXIV, N 5.
48. Данилова Т.А. Исследование важнейших свойств ряда аминокислотных производных госсипола и изучение влияния госсипурпурина на качество хлопкового масла.-Автореф. дис...канд.техн.наук.-Л.:1969.-18 с.
49. Ржехин В.П.,Петушина А.Б. Применение аминокислотных кислот для выведения госсипола из высокогоссиполовых форпрессовых масел и бензиновых мисцелл//Труды ВНИИЖиров, 1960,вып. XX. -С.40.
50. Белова А.Б. Исследование процесса выведения госсипола из хлопковых масел с помощью антраниловой кислоты.-Автореф. дис... канд. техн. наук. -Ташкент, ТашПИ, 1964.- 29 с.
51. Ржехин В.П. Взаимодействие госсипола с белковыми веществами и аминокислотами //Масло-жировая пром-сть,1957, N 9. -С.6-9.
52. Михтарьянц Л.А.,Надафф М.Д.,Ермакович Т.И. Влияние влаготепловых воздействий при переработке семян хлопчатника на поведение госсипола //Пищевая пром-сть, 1988, N 6. -С.12.
53. Ржехин В.П.,Преображенская И.С. Взаимодействие фосфатидов с госсиполом в присутствии воды //Масло-жировая пром-ть, 1960, N 3. - С.3.
54. Ржехин В.П. К вопросу о природе специфической окраски сырых хлопковых масел //Масложировая пром-сть,1954, N 2. -С.3.
55. Семендяева Т.К. Взаимодействие фосфатидов с госсиполом //Масложировая пром-сть, 1957, N 4. -С.7.
56. Маркман А.Л.,Умаров А.У. Хроматографическое исследование госсипола //Узбекский химический журнал,1960, N 5. -С.66.
57. Демченко П.П.,Ключкин В.В.,Григорчук Р.Т. Влаготепловая обработка ядра хлопчатника//Труды ВНИИЖиров, 1985. -С.27.
58. Рахимжанов М.А.,Мирзакаримов Р.М. Способ выделения госсипола из хлопкового материала.-А.с. СССР N 1346662,1987.
59. Пулатова С.Р.,Мирзакаримов Р.М.,Ильясов А.Т. Облагораживание хлопкового шрота аммиаком и карбамидом //Узбекский химический журнал,1987, N 2,с.70-74.

60. Черненко Т.В.,Талипова М.,Глушенкова А.И. Воздушная классификация заводского шрота и обезжиренного хлопкового ядра //Масло-жировая пром-сть, 1986, N 2. -С.10.
61. Атауллаев А.Х.,Фрейман Р.И.,Ким М.В. Некоторые особенности семян хлопчатника новых селекционных сортов.// Масло-жировая пром-сть, 1977.-N 2. -С.10-12.
62. Атауллаев А.Х., Султанбекова Д.М., Ключкин В.В. и др. Изменение фракционного состава белков.//Масложировая пром-сть,1983.-N 8. - С.12-14.
63. Калманович С.А., Мартовщук В.Н., Данилович Л.М. Подготовка хлопковых масел к рафинации //Пищевая технология, 1987, N 4. -С.48.
64. Конева Н.А.,Ходжаев А.А.,Тучкова Л.И. Рафинация высококислотных хлопковых масел //Масложировая пром-сть, 1981, N 2. -С.24-26.
65. Попова В.И., Ахунджанов А.П. и др. Рафинация хлопкового масла эмульсионным методом //Масложировая пром-сть, 1980, N 3. -С.16.
66. Мартовщук В.Н. Повышение эффективности рафинации низкосортных хлопковых масел на основе методов механо-химической активации, Автореф.дис....канд.техн.наук-Краснодар, 1987. -25 с.
67. Мартовщук В.И., Арутюнян Н.С., Мгебрешвили Т.В. Повышение эффективности рафинации труднорафинируемого хлопкового масла //Масложировая пром-сть, 1986, N 6. -С.14-16.
68. Бутенова В.Н., Попеушапка А.В., Ермак Л.Г. Кинетика нейтрализации жирных кислот карбонатом натрия //Масложировая пром-сть, 1987, N 9. -С.21.
69. Лотешник В.К., Кудрин Ю.П., Арутюнян Н.С. и др.Способ подготовки мятки маслосодержащего материала к извлечению масла. Авторское свидетельство N 759582., 1980 г.
70. Летешник В.К., Щербаков В.Г., Арутюнян Н.С. и др. Способ извлечения масла из маслосодержащего сырья. Авторское свидетельство N 806747,1981.
71. [www.gov.uz](http://www.gov.uz)
72. [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)
73. [www.ref.uz](http://www.ref.uz)
74. [www.lex.uz](http://www.lex.uz)
75. [www.bilimdon.uz](http://www.bilimdon.uz)
76. [www.istedod.uz](http://www.istedod.uz)
77. [www.edu.uz](http://www.edu.uz)