

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Ивановский государственный химико-технологический университет

Т.К. Акаева, С.Н. Петрова

ОСНОВЫ ХИМИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И  
ПЕРЕРАБОТКИ ЖИРОВ

Часть 1. Технология получения растительных масел

Учебное пособие

Иваново 2007

УДК 664.34.002(075)

Акаева Т.К., Петрова С.Н. Основы химии и технологии получения и переработки жиров. Ч.1. Технология получения растительных масел: Учеб. пособие/ ГОУВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т; Иваново, 2007. – 124 с. – ISBN 5– 9616– 0179–Х

В учебном пособии описаны подготовительные операции по хранению и переработке масличного сырья, технологические операции по подготовке семян к извлечению масла, изложены теоретические и технологические основы получения растительных масел методом прессования и методом экстракции, рассмотрены вопросы первичной очистки извлеченного масла.

Предназначено для студентов специальности 260401 «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов».

Табл. 4. Ил. 43. Библиогр.: 4 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета ГОУ ВПО Ивановского государственного химико-технологического университета.

Рецензенты:

кафедра химии и биохимии Ивановской государственной сельскохозяйственной академии; кандидат химических наук Лебедева Т.Н. (Институт химии растворов РАН)

ISBN 5–9616–0179–Х

© ГОУ ВПО Ивановский  
государственный химико-  
технологический универ-  
ситет, 2007

## ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

Сырьем для маслодобывающей промышленности служат семена масличных культур. Масличными условно называют растения, которые концентрируют в своих органах (в частности, в семенах) большое количество жира. Это – подсолнечник, соя, рапс, лен, клещевина, горчица и др. Некоторые из них, например, хлопчатник, лен и конопля, возделываемые в основном для получения волокна, относят одновременно и к категории прядильных растений.

В нашей стране основной масличной культурой до сих пор остается подсолнечник. На его долю приходится более 75 % общего объема производства растительных масел в стране.

*Подсолнечник* принадлежит к ботаническому семейству Астровых, цветки его собраны в соцветие типа «корзинка». Плод – семянка с хрупкой нераскрывающейся оболочкой. Лучшие сорта подсолнечника отличаются высокой урожайностью (до 35...37 ц/га) и масличностью (до 52...60 %). Содержание плодовой оболочки и лузжистость 20 % и ниже.

*Соя* относится к семейству Бобовых, цветки собраны в соцветие типа «кисть», плод – боб, содержит от двух до пяти семян. Масличность соевых семян 19...22 %. Лузжистость семян 5...10 %.

*Рапс* занимает третье место в общем объеме переработки масличного сырья в России. Масличность семян рапса 47...50 %, урожайность – 17...28 ц/га. В последние годы выведены семена отечественной селекции, отличающиеся низким содержанием эруковой кислоты и глюкозинолатов. Масло из таких семян относится к высококачественным пищевым маслам олеиновой линии.

*Лен* принадлежит к семейству Леновых. Соцветие его – типа «кисть», плод – коробочка, содержащая от одного до десяти семян. Урожайность 7...10 ц/га, масличность 46...48 %. Семена льна поступают на переработку без отделения семенной оболочки.

*Клещевина* относится к семейству Молочайных, цветки ее собраны в соцветие типа «кисть», плод – коробочка. Масличность семян клещевины 54...56 %, лузжистость 22...25 %.

Для извлечения масла из масличного сырья в мировой практике производства растительных масел существуют два принципиально различных метода:

- механический отжим масла – *прессование*;
- извлечение масла в виде раствора в летучих органических растворителях с последующим удалением последнего из раствора – *экстракция*.

В некоторых случаях, которые определяются главным образом природой и качеством перерабатываемого масличного сырья, применяют различные комбинации этих методов.

В технологических схемах переработки масличных семян на масло различают подготовительные, основные, вспомогательные и дополнительные операции (рис. 1).

К *подготовительным операциям* относят очистку семян от примесей, сушку, освобождение ядра от оболочки.

*Основные операции* включают измельчение ядра, влаготепловую обработку измельченного продукта и собственно извлечение масла.

*Вспомогательные операции* для экстракционного метода включают отделение растворителя от обезжиренного остатка (шрота), получение готового продукта (масла) из его раствора (мисцеллы), регенерацию и рекуперацию растворителя.

К числу *дополнительных операций* относят первичную очистку масла от механических примесей и его комплексную очистку с выделением фосфорсодержащих примесей.

Совокупность всех перечисленных операций составляет технологические схемы производства растительных масел, которые подразделяются на две основные группы.

Первая группа – схемы, завершающиеся прессованием:

- однократное прессование на шнековых прессах;
- двухкратное прессование на шнековых прессах с предварительным и окончательным отжимом масла;
- трехкратное прессование с двумя предварительными и одной окончательной степенями отжима масла.

Вторая группа – схемы, завершающиеся экстракцией:

- прямая экстракция без предварительного отжима масла;
- экстракция с однократным предварительным отжимом масла на шнековых прессах;
- экстракция с двухкратным предварительным отжимом масла.

Среди схем первой группы наибольшее применение получила вторая – с двухкратным прессованием, а среди схем второй группы – схема с однократным предварительным прессованием. В последнее время как в отечественной, так и в мировой практике производства растительных масел наблюдается тенденция в увеличении доли технологических схем прямой экстракции масла.

В целом выбор схемы переработки масличных семян обусловлен физико-механическими свойствами семян, их природой, видом компонентов и назначением извлекаемого масла.



Рис. 1. Принципиальная структурная схема переработки масличного сырья

# 1. ХРАНЕНИЕ, ОЧИСТКА И СУШКА МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ

## 1.1. Приемка масличного сырья

Основной задачей приемки масличных семян на маслозаводах является быстрая оценка качества, взвешивание, выгрузка и правильное размещение на складах предприятия. Приемка масличных семян начинается с отбора проб для определения качественных показателей согласно нормативной документации. В зависимости от исходного состояния (влажность, засоренность и т.д.) семена направляются либо на подработку и хранение, либо непосредственно на переработку (рис.2).

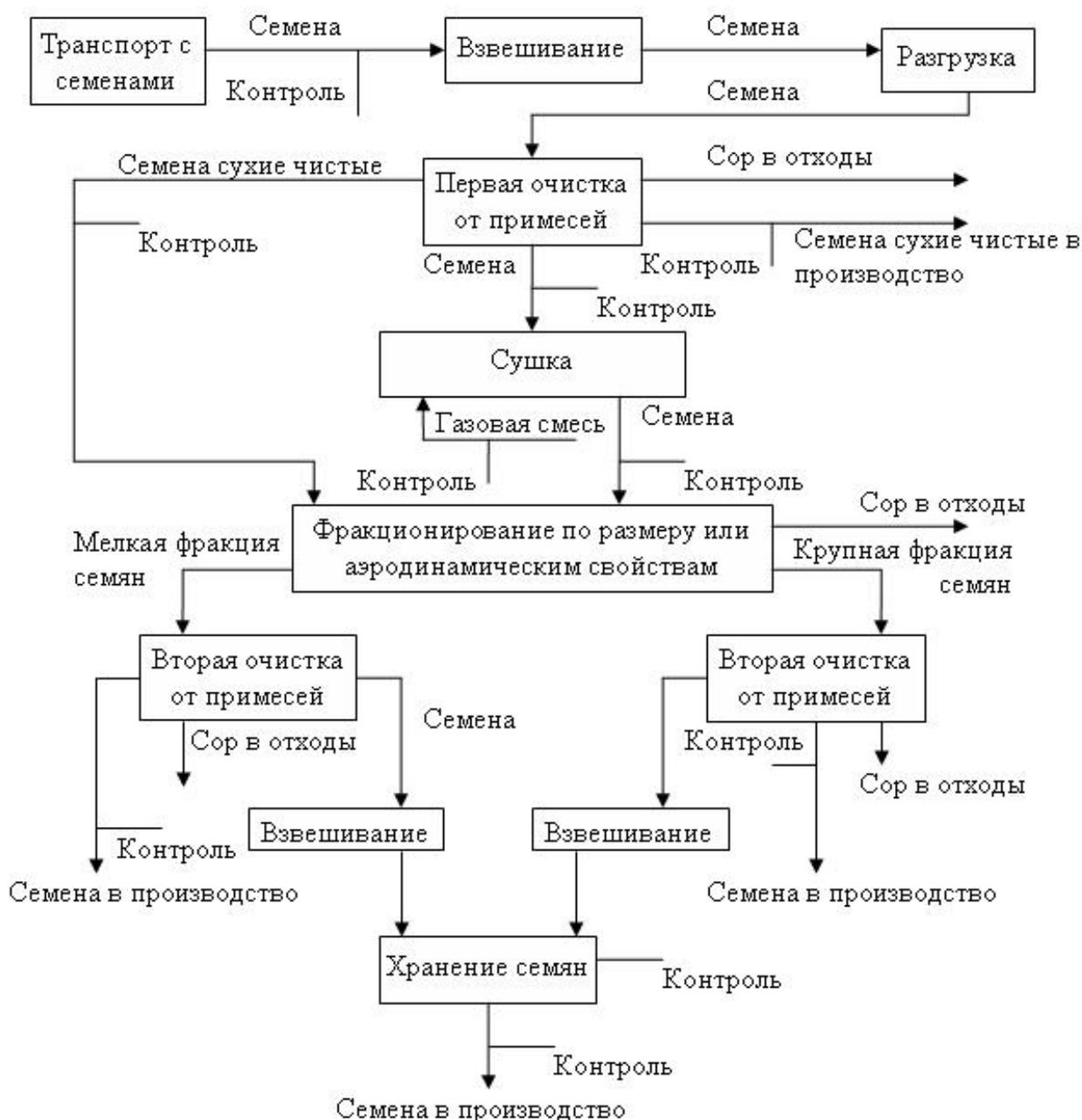


Рис.2. Структурная схема приемки масличного сырья

Во всех случаях заводского контроля на данной стадии основной является работа по отбору правильных средних проб. Каким бы опытом и точными методами не располагали специалисты, работа не имеет смысла, если проба недостаточно точно характеризует анализируемое вещество во всей партии.

*Отбор проб* включает несколько стадий: выделение элементарных проб из производственных потоков, составление из них генеральной (средней) пробы, сокращение ее до лабораторной и сокращение лабораторной пробы до навески для выполнения анализа.

При отборе проб возникают систематические погрешности, связанные с неоднородностью, расслоением материала при движении по транспортным элементам (течкам, шнекам, лентам, трубопроводам). Их необходимо выявлять и устранять.

Сокращение генеральной пробы сыпучих материалов производят на аппаратах различных конструкций (делителе Гусева, делителе Ржехина) или вручную – диагональным делением.

*Диагональное деление* производят на металлическом подносе. Генеральную пробу высыпают на поднос и смешивают при помощи двух планок. Затем материал распределяют ровным слоем и повторяют перемешивание. Далее вновь распределяют материал ровным слоем, придавая ему форму квадрата. Затем разделяют квадрат диагоналями на 4 равных треугольника. Два противоположных треугольника отбрасывают, а оставшуюся часть материала вновь подвергают делению до тех пор, пока количество материала в двух противоположных треугольниках не будет требуемой величины.

При сокращении проб жидкостей генеральную пробу тщательно перемешивают в сосуде, затем малыми порциями после повторного перемешивания отбирают требуемое количество материала.

## 1.2. Хранение масличного материала

Хранение масличных семян – один из важнейших этапов их переработки в растительные масла. Биологические особенности масличных семян обуславливают определенные трудности при хранении. Поступающие на маслодобывающие предприятия семена, как правило, сохраняют жизнедеятельность и, как всякий живой организм, дышат. Интенсивное дыхание может привести к порче семян. Порча семян при хранении приводит к потерям самого семенного материала, к уменьшению содержания в нем масла, ухудшению его качества и в результате может свести на нет все усилия сельскохозяйственного производства.

Период заготовки масличного сырья ограничен в среднем 2...3 месяцами, поэтому для бесперебойной работы в течение всего года маслозаводы вынуждены длительное время хранить масличные семена до технологической переработки. С этой целью данные предприятия должны содержать элеваторно - складские емкости для хранения больших масс семян.

Правильная организация и рациональная технология хранения, учитывающая физиологические и биохимические особенности отдельных видов и партий семян, позволяет сохранить их с минимальными потерями и сформировать партии семян для наиболее эффективной их переработки.

### *1.2.1. Биохимические и технологические основы хранения масличных семян*

Различия в качестве семян, поступающих на хранение, определяются в основном качеством посевного материала, почвенно-климатическими условиями зоны произрастания культур, засоренностью полей, условиями уборки и хранения на сельскохозяйственных предприятиях и приемных пунктах, а также условиями транспортировки.

Помимо основной культуры в семенной массе содержатся семена сорных растений, примеси органического и минерального происхождения, микроорганизмы, воздух межсеменных пространств.

Семена основной культуры различаются по размерам, влажности, маслосодержанию и другим признакам, что связано с неодновременным цветением и созреванием даже на одном растении.

Сорные примеси более влагоемки, чем семена основной культуры, поэтому легче подвергаются поражению микроорганизмами, становясь источником порчи семян и причиной самовозгорания. Воздух межсеменных пространств способствует сохранению жизнедеятельности семян.

При организации хранения семян необходимо учитывать основные физические свойства:

- *Сыпучесть* – величина угла естественного откоса, т.е. угла между основанием и образующей конуса, получающегося при свободном падении семенной массы на горизонтальную поверхность. Чем меньше этот угол, тем больше сыпучесть семенной массы. Для семян подсолнечника угол естественного откоса колеблется в пределах 31...45<sup>0</sup>, клещевины – 34...46<sup>0</sup>, сои – 25...32<sup>0</sup>, льна 27...34<sup>0</sup>, хлопчатника – 42...45<sup>0</sup>. В процессе хранения сыпучесть может ухудшаться и быть потеряна совсем. Этому могут способствовать высокая влажность семян, засоренность, самовозгорание, слеживание. Сыпучесть семян определяет некоторые технологические приемы при хранении и производстве масла: принцип самотека при перемещении семенной

массы, бестарное хранение, перемещение с помощью шнеков, ленточных транспортеров и др.

- *Самосортирование* – определяет неравномерность распределения легких и тяжелых семян и примесей в массе. Возникает вследствие неоднородности и сыпучести семенной массы. Затрудняет отбор проб, способствует самовозгоранию, затрудняет формирование однородных партий.

- *Скважистость* – отношение объема, заполненного воздухом между твердыми частицами в семенной массе, к её полному объему. Величина скважистости зависит от формы, размеров семян, состояния поверхности семян, их упругости, количества и характера примесей, влажности и других характеристик. Поэтому даже для одной культуры она колеблется в широких пределах, например, для подсолнечника – 60...80 %, льна – 35...45 %. При хранении скважистость уменьшается из-за изменения состояния поверхности семян, а также давления верхних слоев на нижние.

- *Плотность* – отношение объемов твердых частиц к общему объему семенной массы.

- *Сорбционная емкость* – способность семенной массы к сорбции и десорбции паров и газов. Наибольшее влияние на качество семян оказывает *гигроскопичность* – способность поглощать и отдавать пары воды. Величину гигроскопичности для данной партии семян определяет парциальное давление паров воды в воздухе. Установившаяся влажность семян при определенной относительной влажности воздуха и температуре называется *равновесной влажностью*.

В первый период хранения происходит перераспределение влаги, но полностью выравнивания влажности не наблюдается. Влажность, при которой резко усиливаются физиолого - биохимические процессы в семенах, и они становятся нестойкими при хранении, называют *критической*. В этом состоянии появляется свободная влага, что приводит к скачкообразному усилению дыхания семян и росту микрофлоры, начинается интенсивное развитие плесневелых грибов.

При влажности выше критической в результате активизации жизнедеятельности семян, микроорганизмов и вредителей начинается *порча семян* – расход запасных веществ семян и изменение состава сухой части: высокомолекулярные соединения гидролизуются, накапливаются низкомолекулярные, растет кислотное число, изменяется цвет семян, появляется посторонний запах, растет температура.

Величина критической влажности зависит от химического состава семян: чем больше в семенах масла, практически не способного удерживать воду, тем ниже величина их критической влажности. Если общую влажность семени пересчитать на его гидрофильную часть, то величина критической влажности будет в пределах 14...15 %. Примерное значение критической влажности масличных семян можно рассчитать по формуле:

$$W=14,5 (100-M)/100,$$

где М – масличность семян, %.

- *Теплопроводность и температуропроводность.* Тепловые характеристики у семенной массы невелики из-за большого содержания воздуха, плохо проводящего тепло. Непосредственно у самих семян эти величины больше и зависят от влажности: чем выше влажность, тем больше теплопроводность.

Семенная масса характеризуется большой тепловой инерцией (низким коэффициентом температуропроводности). Это имеет положительное значение, когда речь идет о сохранности семян, т.к. можно долго поддерживать низкую температуру. Но при создании благоприятных условий для жизнедеятельности семян и микроорганизмов, тепловая инерция семенной массы может привести к самовозгоранию.

### *1.2.2. Характеристика состояния масличных семян по жизнеспособности*

Характеристика масличных семян по жизнеспособности проводится в соответствии с классификацией состояний организмов по А.М.Голдовскому.

При классификации учитывается интенсивность обмена веществ, соотношение интенсивности ассимиляции и диссимиляции (синтетических и разрушительных процессов обмена веществ), а также показатель реактивности, под которым понимают свойство организма отвечать изменением жизнедеятельности на воздействие окружающей среды (табл.1).

Все состояния организмов по жизнеспособности делятся:

*а) на жизнедеятельные:*

- *биоз* – полная жизнедеятельность;
- *гипобиоз* – временное снижение интенсивности жизненных процессов – замедленная и ограниченная жизнедеятельность;

*б) нежизнедеятельные:*

- *анабиоз* – полное отсутствие жизнедеятельности;
- *мезабиоз* – промежуточное состояние между жизнедеятельностью и анабиозом (абиозом).

Для хранения семян из перечисленных видов состояний наибольший интерес представляют *анабиоз и мезабиоз*.

Различают полный и неполный анабиоз. В первом случае прекращаются все биохимические процессы, жизнедеятельные структуры не функционируют, но сохраняется жизнеспособность. Не протекают газообмен и ферментативные процессы. В данном состоянии возможны лишь чисто химические процессы, протекающие с небольшой интенсивностью. Полный анабиоз на-

ступает при глубоком высушивании или охлаждении. В этих условиях семена хранятся долго, известны случаи – сотни лет.

При неполном анабиозе разрушительные процессы протекают, но с небольшой интенсивностью. При этом жизнеспособность сохраняется длительное время, но меньше, чем в предыдущем случае. Здесь выше скорость химических процессов, возможен газообмен, но не обусловленный дыханием семян. Состояние неполного анабиоза характерно для сухих семян. Однако резкого перехода между состояниями полного и неполного анабиоза нет.

Таблица 1

Классификация состояний организмов по жизнеспособности

| Процессы, характеризующие состояние организмов  | <i>Жизнедеятельные состояния</i>     |                               | <i>Нежизнедеятельные состояния</i>                                  |   |
|---|--------------------------------------|-------------------------------|---|---|
|   | биоз                                 | гипобиоз                      | анабиоз   | мезабиоз  |
| Особенности обмена                              | Сочетание ассимиляции и диссимиляции |                               | Незначительные разрушительные процессы, не являющиеся диссимиляцией | Диссимиляция (процесс распада веществ)  |
| Функционирование жизнеспособных структур клеток | Полное                               | Ослабленное и ограниченное    | Не функционируют  | Односторонние каталитические действия ферментативно-активных участков структуры |
| Реактивность                                    | Полная                               | Пониженная (гипореактивность) | Отсутствует (ареактивность)   | Отсутствует (ареактивность)   |

Переход семян от анабиоза к жизнедеятельности происходит через зону мезабиоза. Это состояние наступает, когда в семенах содержится воды больше, чем требуется при анабиозе, но меньше, чем необходимо для прорастания. При мезабиозе наблюдается односторонний обмен – разрушительные

диссимиляционные процессы и отсутствие или незначительное проявление ассимиляции.

При хранении семян нельзя допускать состояния мезабиоза, так как именно в нем происходят потери семян, и ухудшается их качество.

### 1.2.3. Дыхание семян

Дыхание семян – это один из наиболее важных и чувствительных показателей стойкости семян при хранении. В процессе дыхания клетки получают энергию в результате окисления и распада органических веществ в семени. Растение компенсирует эту потерю за счет процессов синтеза. У семян такой способности нет, поэтому дыхание семян сопровождается потерей сухих веществ – углеводов, жиров, белков.

Различают два вида дыхания: аэробное и анаэробное. При *аэробном* дыхании семена для окислительных процессов расходуют кислород окружающего воздуха. При *анаэробном* – процессы идут за счет внутриклеточных реакций. Например, для углеводов упрощенно можно записать так:

при аэробном дыхании:  $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O + 2872 \text{ КДж}$

при анаэробном дыхании:  $C_6H_{12}O_6 = 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 234 \text{ КДж}$

Интенсивность дыхания выражают объемом или массой выделившегося  $CO_2$  или поглощенного кислорода ( $O_2$ ) определенной навеской семян за фиксированное время при определенной температуре, влажности и доступе воздуха.

Увеличение интенсивности дыхания указывает на усиление физиолого-биохимической активности семян и снижает их стойкость. Основные факторы, определяющие интенсивность дыхания: влажность, температура, доступ воздуха.

С увеличением температуры интенсивность дыхания сначала растет, а затем падает, так как вначале ускоряются внутриклеточные процессы, а затем превалирует инактивация ферментов и денатурация белков, в результате наблюдается гибель семян. Температурный оптимум зависит от влажности: чем выше влажность, тем при более низкой температуре достигается максимальная интенсивность дыхания. Оптимальная температура зависит также от продолжительности температурного воздействия. С увеличением продолжительности воздействия зона оптимальных температур смещается в сторону более низких температур. Поэтому при хранении желательно иметь низ-

кие температуры масличных семян: в этом случае ограничивается рост плесневелых грибов, снижается жизнедеятельность семян и насекомых.

С уменьшением доступа воздуха дыхание затрудняется. При частичной или полной герметизации хранилищ состав воздуха в межсеменном пространстве изменяется – уменьшается содержание кислорода и увеличивается количество углекислого газа, что приводит к снижению интенсивности дыхания. При полном отсутствии кислорода возможно только анаэробное дыхание. Это положительный фактор, поскольку интенсивность аэробного дыхания гораздо выше, чем интенсивность анаэробного, что подтверждается цифрами экспериментальных данных: для семян подсолнечника с влажностью 9,84 % примерно в 30 раз, для семян с влажностью 11,93...19,50 % в 7...11 раз (табл.2).

Таблица 2

Экспериментальные данные исследования интенсивности дыхания семян

| Влажность семян, % | Интенсивность дыхания,<br>мг CO <sub>2</sub> /100 г сухого вещества |            |
|--------------------|---|------------|
|                    | аэробное  | анаэробное |
| 9,84               | 2,08  | 0,07       |
| 11,93              | 6,00  | 0,65       |
| 19,50              | 29,82   | 3,25       |

#### 1.2.4. Послеуборочное дозревание

В период послеуборочного дозревания семена достигают физиологической зрелости. Уборка семян происходит в стадии уборочной зрелости. У таких семян низкая энергия прорастания и всхожесть, повышенная влажность, ферментная система находится в активном состоянии, продолжают биохимические превращения. Масло из таких семян получать труднее, и его потери в производстве выше.

Послеуборочное дозревание приводит к повышению энергии прорастания и всхожести, снижается и выравнивается влажность, уменьшается активность физиологических процессов, падает интенсивность дыхания.

Для синтетической направленности процессов, протекающих в семени, должны быть созданы определенные условия, а именно:

- снижение влажности, что достигается осторожным подсушиванием или активным вентилированием семян;
- положительные температуры ускоряют послеуборочное созревание, т.к. увеличивают скорость реакций.

Повышенное содержание CO<sub>2</sub> в межсеменном пространстве тормозит процесс дозревания.

При благоприятных условиях хранения послеуборочное дозревание заканчивается за 1,5...2 месяца. В этот период семена следует хранить с меньшей высотой насыпи в условиях мягкой сушки или активного вентилирования при влажности меньшей критической.

#### 1.2.5. Жизнедеятельность микрофлоры

Микрофлора, к которой относят грибы, бактерии, актиномицеты, попадает в семенную массу в процессе уборки и транспортировки. Семенная масса служит для микрофлоры питательной средой. Особенно неприятны плесневелые грибы, способные гидролизовать клетчатку, т.е. разрушать семенные и плодовые оболочки, открывая доступ другим микроорганизмам внутрь семени.

*Основные способы борьбы с микрофлорой:* очистка семян от примесей, в которых значительно больше микроорганизмов, и проведение мероприятий по снижению активности микрофлоры.

Первым признаком активной жизнедеятельности микроорганизмов является изменение цвета семян (теряется характерный блеск, появляются темные и окрашенные пятна), затем – затхлый плесневелый запах, потеря сыпучести, повышение температуры, наконец, самовозгорание.

*Самовозгорание* семян при хранении происходит за счет интенсификации физиолого - биохимических процессов в результате выделения тепла и влаги, т.к. все живые компоненты семенной массы дышат и выделяют при этом тепло и влагу. Различают: *очаговое, верховое, низовое и вертикально-пластовое самовозгорание*. Оно начинается обычно там, где повысилась влажность или имеется повышенное содержание сорных примесей, и может в дальнейшем перейти к сплошному процессу. При этом температура может подняться до 65...75 °С.

Основной способ предотвращения самовозгорания – очистка семян от сорных примесей и снижение влажности до значений, значительно меньших критической.

Однако и в сухих семенах может произойти самовозгорание за счет воздействия наружного воздуха. Поэтому контроль состояния хранящихся семян должен быть тщательным и постоянным.

Для прекращения самовозгорания принимают немедленные меры:

- перемещение семян из силоса в силос;
- активное вентилирование;
- пропуск через семяочистительные машины;
- сушка.

Цель всех перечисленных технологических операций заключается в снижении влажности, температуры, засоренности.

#### *1.2.6. Режимы хранения семян*

Для хранения масличных семян могут применяться следующие режимы: хранение в сухом состоянии, хранение в охлажденном состоянии, хранение без доступа воздуха.

К вспомогательным приемам относятся очистка семян от примесей, активное вентилирование, химическое консервирование и др.

*Хранение в сухом состоянии* заключается в следующем. При влажности ниже критической семена находятся в состоянии неполного анабиоза, и вся влага в них связана. Микроорганизмы в этих условиях нежизнеспособны. Для достижения необходимой влажности используют сушку и активное вентилирование. Хранение в сухом состоянии может осуществляться в складах и элеваторах.

*Хранение в охлажденном состоянии* осуществляется при пониженных температурах. При температуре ниже 10 °С происходит сильное ослабление жизнедеятельности семян как основной культуры, так и примесей, микроорганизмов, насекомых, клещей. Поэтому охлаждение семенной массы до 0...10 °С даже в условиях повышенной влажности позволяет хранить семена длительное время без ухудшения их качества. Для этой цели используют атмосферный воздух в холодное время года и искусственно охлажденный атмосферный – в остальное время. Активное вентилирование позволяет для достижения этих целей использовать суточные колебания температур. Этому способствует высокая тепловая инерция семян.

Для охлаждения семенной массы можно использовать пассивную аэрацию, средства активного вентилирования, перемещение семян через транспортные механизмы или семяочистительные машины. При этом необходимо учитывать возможность увлажнения семян при охлаждении в результате конденсации влаги из воздуха.

В последнее время используют искусственный холод, который осуществляют в холодильных машинах (ХВМ–1-30, G-100) производительностью соответственно 70 и 100 т/сутки. Температура воздуха при этом снижается на 20 °С.

*Хранение без доступа воздуха.* Жизнедеятельность семян, микроорганизмов и вредителей протекает с участием кислорода воздуха. Отсутствие кислорода в межсеменном пространстве приводит к снижению жизнедеятельности всех живых компонентов. Семена в этих условиях дышат анаэроб-

но. Микроорганизмы, а также клещи и насекомые по своей природе главным образом аэробы, поэтому в этих условиях они не развиваются.

Бескислородная среда может быть достигнута *самоконсервацией*, т.е. процессом поглощения семенами кислорода межсеменного пространства и накопления в нем углекислого газа в герметизированном хранилище, а также путем вытеснения кислорода воздуха другими газами. Самоконсервирование осуществлять дешевле и проще. Однако этот способ имеет существенный недостаток: бескислородные условия создаются постепенно, не сразу, и за это время могут заметно развиваться микроорганизмы и вредители. Принудительное вытеснение кислорода воздуха углекислым газом ускоряет консервацию, а если использовать брикеты сухой углекислоты, то дополнительно достигается охлаждение семян.

При использовании такого режима хранения строят газонепроницаемые хранилища из специального строительного материала: газонепроницаемые металлы, стеклопластики, некоторые виды бетона, полимерные смолы и пленки. Герметизированные хранилища бывают наземного и подземного типа.

*Активное вентилирование* – это принудительная аэрация неподвижной семенной массы. Хорошая газопроницаемость и скважистость семенной массы позволяет нагнетать в нее воздух вентиляторами в силосах. При этом снижается влажность семян и температура семенной массы, происходит ее дегазация, ускоряется послеуборочное дозревание семян. Активное вентилирование можно проводить в силосах, на складах любого типа и на площадках.

Силосы вентилируют в вертикальном или горизонтальном направлении, либо послойно. При вертикальной продувке всего столба семенной массы в нижней части на уровне воронки устраивают распределительные воздухопроводы, в которые вентилятором высокого давления нагнетается воздух. Для продувки в горизонтальном направлении по высоте силоса монтируются воздухопроводящие и воздухоотводящие трубы. Этот метод эффективнее, но дороже и сложнее. В складах и на площадках применяют стационарные, напольно-переносные и передвижные трубчатые установки. При активном вентилировании необходимо учитывать параметры применяемого наружного воздуха – его температуру и влажность. Следует также обеспечить необходимую удельную подачу воздуха в зависимости от влажности семян.

*Химическое консервирование.* Химическое консервирование применяют для стабилизации качества семян при хранении и для борьбы с различными вредителями. При этом способе межсеменное пространство заполняется парами веществ, обладающих токсическим действием на вредителей и микрофлору. Эти вещества могут быть парообразными, жидкими и газообразными, например, дихлорэтан, бромметил, пропионовая кислота.

### 1.2.7. Особенности хранения семян отдельных масличных культур

Семена любой масличной культуры принимают и размещают на складах различного типа и конструкций. Они различаются по способам хранения и степени погрузочно-разгрузочных операций: силосные хранилища и элеваторы, механизированные склады шатрового типа с наклонными или горизонтальными полами, бунтовые площадки, этажные хранилища. При этом к хранилищам для приема и размещения семян предъявляются общие требования:

- стены помещения должны быть сухие, оштукатуренные и побеленные (в каменных и кирпичных складах);
- изолированы от грунтовых вод;
- двери и окна должны плотно закрываться;
- полы гладкие, без выбоин и трещин;
- хранилища должны быть выметены, освобождены от амбарных вредителей, хорошо проветрены, высушены, чистые, со свободной циркуляцией воздуха.

В зависимости от размера семян масличной культуры и свойств ее оболочки правила размещения семенной массы различаются. Крупносеменное сырье (подсолнечник) хранят насыпью в высоком слое. Сырье с хрупкой семенной оболочкой (арахис) и мелкие семена (мак) хранят в мешках или другой таре. Такие мелкосеменные культуры как лен, рапс, кунжут, можно хранить в складах насыпью в специально оборудованных секциях с плотными полами и стенами. Высота насыпи зависит от типа семян, их влажности, сорности, технического состояния, целевого назначения семян.

Семена с повышенной масличностью имеют повышенную интенсивность жизненных процессов, более тонкую оболочку, больше повреждаются микроорганизмами, труднее сохраняются. Такие семена приходится хранить при влажности на 6...7 % ниже критической, в то время как для успешного хранения среднемасличных семян достаточно иметь их влажность на 1...2 % ниже критической.

### 1.3. Очистка масличных семян от примесей

Семена масличных культур, поступающие для переработки на предприятия маслодобывающей промышленности, представляют собой смесь, состоящую из семян основной культуры и различных примесей.

Все примеси в маслосеменах делятся на *сорные и масличные*.

*Сорные* (минеральные и органические) подразделяют в зависимости от размеров семян основной культуры:

- для крупных семян (подсолнечник, соя) – проход через сито с отверстиями диаметром 3 мм;
- мелких (лен, горчица, рапс) – проход через сито с отверстиями диаметром 1 мм.

*Минеральные* примеси включают в себя комочки земли, гальку, песок и прочее.

*Органические* примеси представляют собой остатки стеблей, листьев, оболочки семян и т.п.

*К масличным* примесям относят семена основной культуры, обрубленные полностью или частично, изъеденные вредителями, битые, давленные, испорченные самосогреванием или сушкой, заплесневевшие, поджаренные с измененным цветом ядра, незрелые, недоразвитые, шуплые, проросшие, поврежденные морозом и т.п., а также семена всех других растений.

Чистота семян (в %) определяется по формуле:

$$X = (100 - A + B/2),$$

где А – содержание сорной примеси, %; В – содержание масличной примеси, %.

Высокая сорность масличного сырья увеличивает затраты на транспортировку и хранение, становится источником высокой запыленности и заражения микроорганизмами, а также самовозгорания семян. Поступившие в производство засоренные партии семян ухудшают качество продукции, снижают ее выход, ведут к поломке и износу оборудования, уменьшают его производительность, создают антисанитарные условия труда.

Очистка семян от примесей основана на различии семян основной культуры и примесей по их физическим свойствам (размер, плотность, форма, аэродинамические, магнитные характеристики).

Основные методы очистки:

- очистка, основанная на различии семян и примесей по величине и форме. Такая очистка производится путем просеивания засоренных семян через сита с различной величиной и формой отверстий;
- очистка, основанная на различии аэродинамических свойств. Для такой очистки используются машины, работа которых основана на принципе сепарации семенной массы в воздушном потоке;
- механическая очистка с использованием метода удара и трения;
- очистка путем мокрой обработки (мойка) не имеет широкого применения;
- очистка от металлических примесей, использующая различие ферромагнитных свойств примесей и семян.

Часто указанные способы комбинируются, что позволяет улучшать операцию очистки семян.

### 1.3.1. Очистка семян от примесей, отличающихся от них по размерам

Отделение примесей, отличающихся от основной массы семян размерами, производится при помощи просеивающих машин, основным рабочим органом которых является система сит. При просеивании на каждом сите образуются две фракции. Одна фракция с размером, большим размера отверстий сита, и остающаяся на сите (сход). Другая фракция с размером, меньшим размера отверстий сита, и проваливающаяся через него (проход) (рис.3).

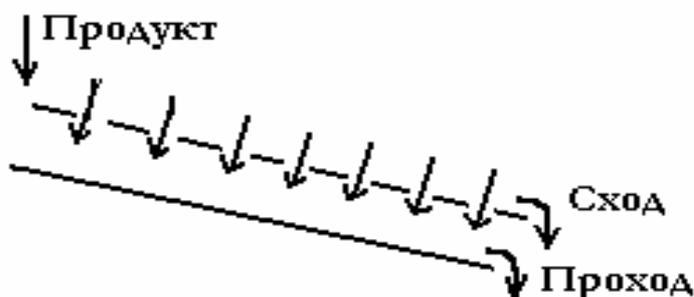


Рис. 3. Схема разделения продукта на сите

При данном способе очистки важно правильно выбрать систему сит. Для этого необходимо знать размеры семян основной культуры и сорных примесей, поступающих на очистку.

Для выбора сит проводится массовое измерение длины, ширины и толщины семян и строятся вариационные кривые. Для семенных масс, состоящих из трех фракций, они могут иметь два основных вида (рис. 4 а и 4 б).

На рис. 4а кривые не перекрывают друг друга (наибольший размер мелкой примеси  $d$  меньше наименьшего размера основного продукта, а наибольший размер основного продукта меньше наименьшего размера крупных примесей). В данном случае с помощью сит диаметром  $d$  или  $d_1$  происходит легкое разделение семенной массы. При отверстиях диаметром  $d_1$  сходом пойдет крупная примесь, а проходом – семена и мелкая примесь. При направлении прохода на второе сито с отверстиями диаметром  $d$  сходом пойдет основной продукт, а проходом – мелкая примесь.

На рис. 4б представлены вариационные кривые, которые наиболее часто встречаются для большинства семенных масс, когда полное разделение смеси невозможно. При диаметре  $d_1$  в сход пойдет весь основной продукт и часть мелких примесей, при диаметре  $d_1$  с мелким сором уйдет в проход часть мелких семян основной культуры.

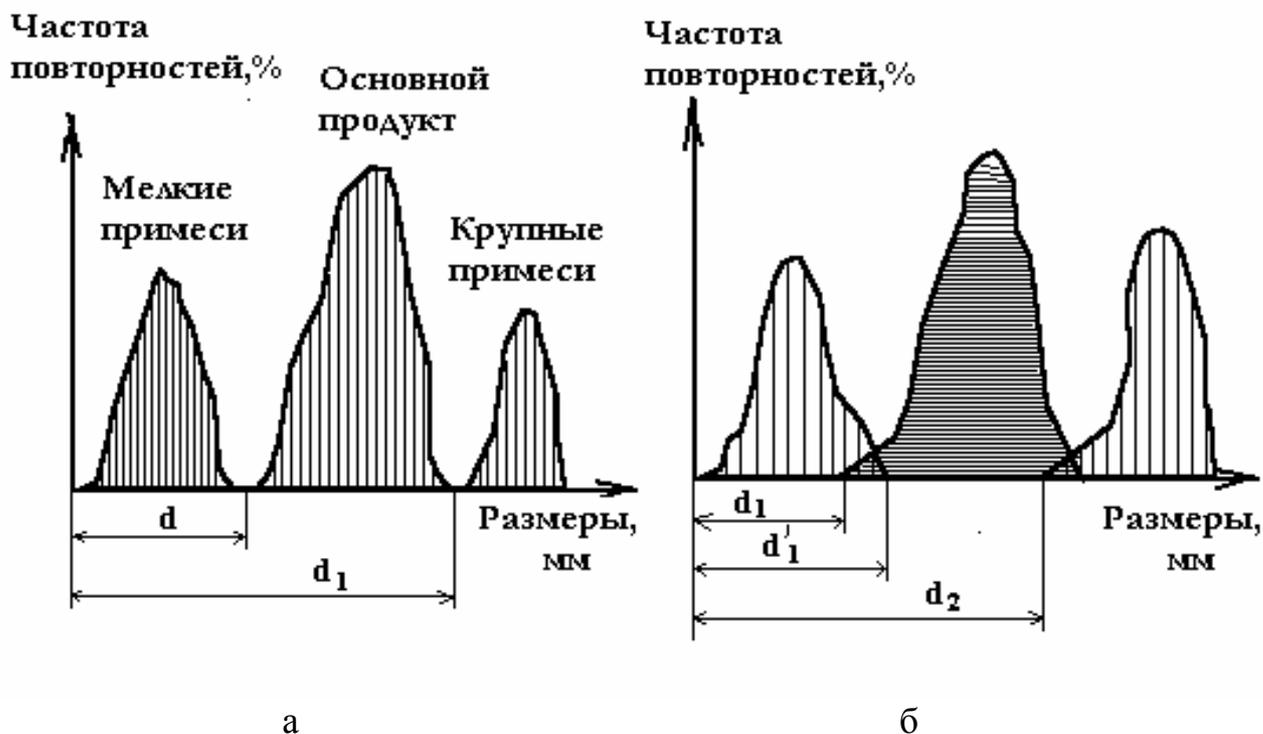


Рис. 4. Вариационные кривые

Примеси, имеющие близкий размер к семенам основной культуры, не могут быть разделены и составляют *остаточную засоренность*, с которой семена поступают на хранение или переработку.

Для отделения примесей, отличающихся от семян по размерам, применяют сита, которые подразделяются:

- на пробивные (штампованные),
- плетеные (тканые).

Отверстия *пробивных сит* бывают круглыми и продолговатыми. Преимущество штампованных сит заключается в их большой механической прочности, износоустойчивости и постоянстве размеров отверстий. Наряду с этим они имеют существенные недостатки: живое сечение их невелико и составляет от 15 до 50 %, отверстия часто засоряются.

Отверстия *плетеных сит* имеют квадратную форму. Живое сечение проволочных сит изменяется от 48 до 85 % и зависит от числа нитей и диаметра проволоки. Они более производительны, меньше засоряются. К недостаткам этих сит относят их меньшую механическую прочность, меньшее постоянство размеров отверстий, возможность прохождения через отверстия частиц большего размера, что объясняется подвижностью проволоки или растяжимостью нитей.

При просеивании семенная масса должна передвигаться по плоской поверхности сита. Для этого сито имеет наклон с углом  $10...15^{\circ}$  и приводится в движение, которое может быть четырех видов:

- возвратно-поступательное по направлению движения массы;
- возвратно-поступательное поперек движения массы;
- круговое в плоскости сита;
- круговое высокочастотное малоамплитудное в вертикальной плоскости (вибрация).

### 1.3.2. Очистка семян, основанная на различии в аэродинамических свойствах

Примеси, равные или незначительно отличающиеся по размерам и по форме от основного продукта – семян, не могут быть отделены при помощи сит. Ввиду этого при очистке масличных семян широко используется принцип пневматической сепарации, основанный на различии аэродинамических свойств семян и примесей, то есть на различной их сопротивляемости воздушному потоку.

Поведение частицы в воздушном потоке определяется ее массой, формой, размером, состоянием поверхности, положением относительно потока, скоростью движения и состоянием воздуха.

Сила воздействия воздушного потока на отдельную частицу определяется уравнением:

$$P = K F V^2 y / g,$$

где  $P$  – сила сопротивления воздуха движению частицы, Н;  $F$  – площадь проекции частицы на плоскость, перпендикулярную направлению движения воздушного потока,  $m^2$ ;  $V$  – относительная скорость частицы по отношению к воздуху,  $m/c$ ;  $y$  – плотность воздуха,  $H/m^3$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;  $K$  – коэффициент, определяется формой частицы, состоянием ее поверхности и положением в воздушном потоке.

Если частицу весом  $Q$  поместить в канал, в котором вентилятором снизу создается вертикальный воздушный поток, то она будет находиться под действием двух сил: давления воздушного потока  $P$  и веса частицы  $Q$ .

Если  $Q > P$ , то частица будет падать, при  $Q < P$  – перемещаться вверх, при  $Q = P$  – относительная скорость частицы равна скорости воздушного потока, но с обратным знаком, ее абсолютная скорость  $U = 0$ , и частица будет находиться во взвешенном состоянии.

Скорость воздуха, при которой наступает взвешенное состояние, называют критической или скоростью витания ( $V_{кр.}$ ). Она определяется из следующей формулы при состоянии  $P = Q$ :

$$V_{кр.} = (Q g / K F y)^{1/2}.$$

Ускорение, сообщаемое частице силой  $P$ , определяется как

$$W = P / m = K y F V^2 / m g ,$$

где  $m$  – масса частицы,  $m = P g$ .

Тогда ускорение можно определить по формуле:

$$W = K y F V^2 / Q.$$

Коэффициент  $K y F / Q$  при  $V^2$  называют коэффициентом парусности и обозначают  $K_{\pi} = K y F / Q$ .

Уравнение значения критической скорости примет вид:

$$V_{кр} = (g / K_{\pi})^{1/2}.$$

Таким образом, критическая скорость обратно пропорциональна корню квадратному из коэффициента парусности.

Разделение смеси на основной продукт и примеси произойдет в том случае, когда скорость воздуха в потоке будет больше скорости витания примесей, но меньше скорости витания семян.

Однако реальная смесь не вполне подчиняется этим закономерностям, так как они выведены для шарообразной частицы. Поэтому четкого разделения на практике не будет наблюдаться. Тем не менее, пневматическая сепарация широко используется, поскольку дает возможность хорошо отделить легкие органические примеси, мелкую минеральную пыль, семена многих сорных растений.

Машины для пневматического сепарирования бывают с переменным количеством воздуха и с постоянным. В первом случае схема имеет открытый воздушный цикл, в котором воздух из помещения просасывается через рабочую камеру и пересекает поток падающей семенной массы. При этом легкие примеси и пыль уносятся в осадочную камеру, где выпадает основное количество примесей, а воздух с остатками пыли вентилятором выбрасывается на пылеуловительные устройства. Во втором случае схема имеет замкнутый воздушный цикл, что позволяет отказаться от пылеуловителей.

### *1.3.3. Механическая очистка*

Этот метод используется для разрушения минеральных примесей, близких по размеру и массе к семенам основной культуры, и для очистки от минеральных примесей, приставших к самим семенам. Такие загрязнения другими методами не удаляются.

Удаление примесей такого рода производится в машинах, обрабатывающих поверхность семян механическим воздействием – ударом и трением с одновременной аспирацией выделяющихся пыльных частиц. Это так называемый метод «сухой мойки» семян. При этом сила механического воздействия должна быть достаточна для разрушения примесей и недостаточна для повреждения семян.

Для механической очистки используют обоечные, щеточные и сухомо-  
ечные машины. В перечисленном ряду сила механического воздействия на  
семена убывает.

#### 1.3.4. Очистка семян от металлических примесей

Металлические примеси в большей степени попадают в семена еще до  
поступления их на заводы. Изучение основных источников образования ме-  
таллопримесей показало, что около 70 % их попадает в семена при обмолоте  
и транспортировке насыпью. По составу они представляют в основном желе-  
зоуглеродистые сплавы (сталь, чугун). Для отделения таких примесей ис-  
пользуют различные по конструкции магнитные сепараторы, в которых се-  
мена пропускаются потоком в непосредственной близости от полюсов маг-  
нита (рис. 5).

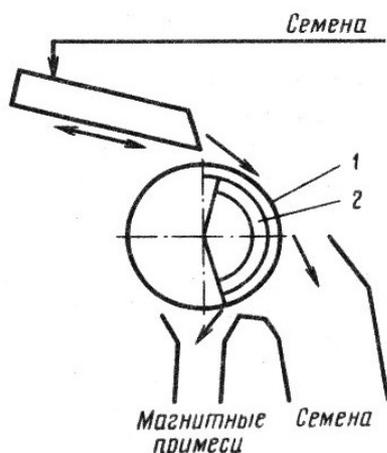


Рис. 5. Схема работы электромагнитного сепаратора: 1– элелектромаг-  
нитный барабан; 2 – электромагнит

Магнитные сепараторы по способу получения магнитного потока де-  
лятся на статические (или постоянные) и электрические (или электромагни-  
ты).

В сепараторах первого типа устанавливаются подковообразные магни-  
ты с расстоянием между полюсами 40...50 мм. Магниты устанавливаются в  
местах самотека семян. Толщина слоя движущегося потока семенной массы  
должна быть не более 10...12 мм, скорость невысокая, чтобы задержанные  
примеси не срывались струей проходящего семенного потока.

В некоторых сепараторах устанавливаются пакеты магнитов от 6 до 18  
штук одноименными полюсами друг к другу и стягиваются. При этом сте-

пень извлечения ферропримесей увеличивается до 98 %. Общий недостаток таких сепараторов – низкая подъемная сила, то есть металлические частички извлекаются хорошо, но плохо удерживаются магнитами.

Сепараторы второго типа (с электромагнитами) лишены вышеуказанного недостатка. Наибольшее распространение среди них получили барабанные машины, в которых электромагниты могут устанавливаться по периметру барабана или в центре. Наиболее часто применяется на маслозаводах электромагнитный сепаратор марки СКЕТ, встречаются также СЭ-3 с качающимся лотком, ДЛС – с вращающейся магнитной системой.

### *1.3.5. Комбинированная очистка семян от примесей*

Большинство современных семяочистительных машин сочетает в себе два или более способа очистки. Этим достигается большой технологический эффект при одновременной экономии производственной площади. Из таких машин наибольшее распространение получили воздушно-ситовые зерновые сепараторы, в которых разделение смеси семян и примесей производится на основе различия их размеров путем просеивания на ситах и одновременно на основе различия аэродинамических свойств – путем продувания воздухом. Кроме того, в современных сепараторах осуществляется улавливание ферромагнитных примесей из семян при помощи постоянных магнитов.

### *1.3.6. Методы очистки воздуха от пыли*

Воздух, выбрасываемый вентиляторами семяочистительных машин, аспирационных установок и других машин на маслозаводах, содержит значительное количество минеральной и органической пыли и других отходов. Пыльный воздух перед выбросом его в атмосферу должен обязательно подвергаться очистке.

Для очистки воздуха в промышленности используются следующие основные методы отделения пыли:

- под действием сил тяжести в различного вида пылевых осадительных камерах;
- под действием центробежных сил в аппаратах, называемых циклонами;
- под действием сил инерции в инерционных пылеотделителях;
- путем фильтрации запыленного воздуха через ткани, сетки, сыпучие материалы и т.д.
- путем осаждения пыли на шероховатых и липких поверхностях, в лабиринтах;
- путем промывки запыленного воздуха водой или паром;

- в электрическом поле путем сообщения пылинкам электрического заряда и перемещения их к противоположно заряженному осаждающему электроду.

На предприятиях маслодобывающей промышленности, а также на заготовительных элеваторах и мельницах для очистки воздуха от пыли применяют чаще всего действие центробежных сил и фильтрацию.

Преимущественное распространение получили центробежные пылеотделители – циклоны и рукавные фильтры; применяют также батарейные циклоны, рукавные фильтры нагнетательного и всасывающего действия.

#### Контрольные вопросы

1. Какие важнейшие виды растительного масличного сырья перерабатываются в нашей стране?
2. Технологические схемы получения растительных масел и операции переработки растительного масличного сырья.
3. Общие принципы приемки масличного сырья и отбора проб.
4. Физические свойства масличных семян, которые необходимо учитывать при организации хранения семян.
5. Порча семян при хранении, ее признаки и способы предотвращения.
6. Что такое критическая влажность и от чего зависит эта величина?
7. Характеристика состояний масличных семян по жизнеспособности.
8. Дыхание семян и факторы, определяющие его интенсивность.
9. Сущность и необходимость послеуборочного дозревания семян.
10. Жизнедеятельность микрофлоры в семенной массе и меры борьбы с ней.
11. Характеристика основных режимов хранения масличных семян.
12. Способы очистки семян от примесей.
13. Как очищают воздух от пыли?
14. Основные требования к хранилищам масличных семян и особенности хранения семян отдельных масличных культур.

## 2. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ МАСЛИЧНЫХ СЕМЯН ПО ВЛАЖНОСТИ (сушка)

Необходимость кондиционирования масличных семян по влажности (сушка) в технологии производства растительных масел встречается, по меньшей мере, дважды.

В первом случае сушка используется при подготовке семян к хранению. Свежеубранные семена неоднородны по влажности и степени зрелости, к тому же уборка часто совпадает с неблагоприятными погодными условиями. А сушка обеспечивает быстрое снижение влажности маслосемян до величины, при которой обеспечивается безопасное их хранение. Это так называемая *сырьевая сушка*.

Во втором случае кондиционирование семян по влажности путем тепловой их сушки имеет значение непосредственно для технологии производства растительных масел. Оптимальная для переработки влажность семян определяет технологичность ряда последующих стадий: обрушивание, отделение ядра от оболочки, измельчение ядра, жарение мезги, извлечение масла. В связи с этим тепловую сушку можно считать исходной стадией технологического процесса переработки масличного сырья, поэтому ее называют *технологической*.

### 2.1. Теоретические основы сушки

Семена относятся к коллоидным капиллярно-пористым материалам. Они могут поглощать или отдавать влагу в атмосферу, которая связана внутри семени различными формами энергии. Согласно классификации Ребиндера в таких телах встречаются следующие формы энергии связи влаги.

*Химическая.* Характер связи кристаллический или химический. Эта влага связывается с большим выделением тепла и в строго стехиометрическом соотношении. Удерживается наиболее прочно. Эта связь может быть разрушена либо путем химического воздействия, либо нагревом до высоких температур – прокаливанием. При сушке эта влага не удаляется.

*Физико-химическая.* Эта форма связи предполагает наличие адсорбционно-связанной, осмотически поглощенной и структурной влаги. Этот вид влаги содержится в различных, не строго определенных соотношениях.

а) *адсорбционная форма связи влаги.* Наиболее прочная в этой группе. Сорбируется снова с выделением тепла. Наибольшее количество тепла выделяется при образовании первого мономолекулярного слоя. Этот слой воды находится под огромным давлением, обусловленным молекулярным силовым полем. Мономолекулярный слой удерживается наиболее прочно, при сушке не удаляется.

б) *осмотическая*. Связь менее прочная. Поглощение этой влаги происходит без выделения тепла. К этому типу влаги относят и внутриклеточную влагу. Она захватывается семенем в процессе роста при формировании геля.

в) *структурная*. Является влагой набухания. Количество осмотически поглощенной и структурной влаги во много раз превышает содержание адсорбционно-связанной влаги.

*Механическая*. Включает капиллярную форму энергии связи и смачивания:

а) *капиллярная*. Это влага, поглощенная макро- и микрокапиллярами. Капиллярная связь обусловлена капиллярным давлением и поверхностным натяжением.

б) *смачивания*. Удерживается действием поверхностных сил. Эта форма связи наименее прочная.

Характер удаления влаги находится в непосредственной зависимости от форм энергии ее связи с материалом. Например, для удаления адсорбционно-связанной влаги необходимо превратить ее в пар; влага макрокапилляров в основном перемещается по капиллярам в виде жидкости, влага набухания – путем диффузии через стенки клеток.

Особенности протекания процесса сушки, характер десорбции влаги описывается кривыми сушки, которые показывают зависимость относительной влажности семян от времени сушки (рис. 6).

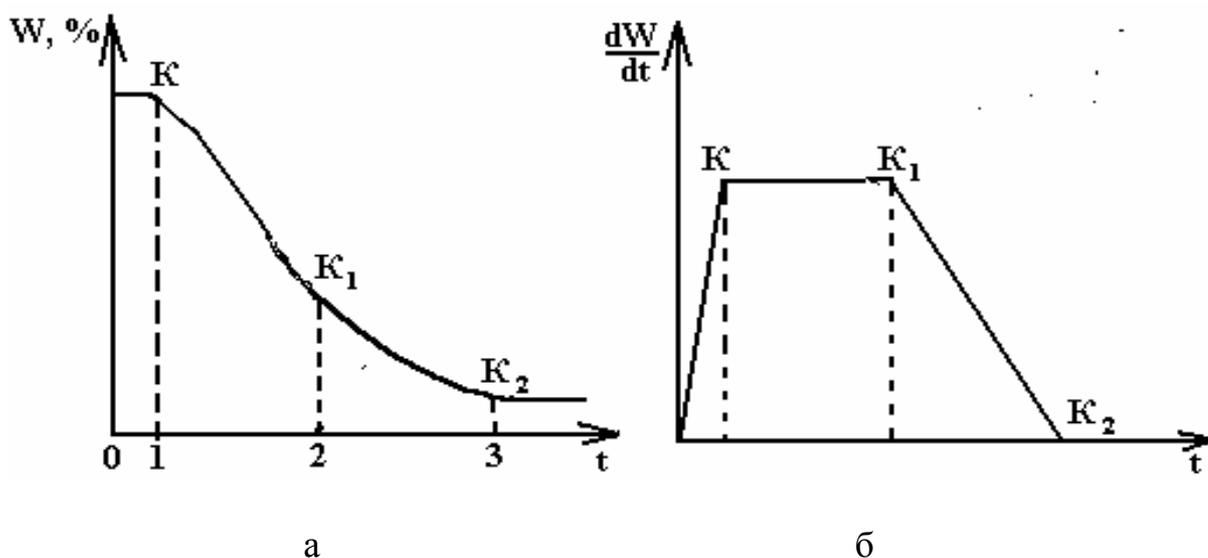


Рис. 6. Кривая сушки (а) и скорости сушки (б) коллоидного капиллярно-пористого тела:  $W$ - относительная влажность, то есть влажность, выраженная в процентах по отношению к сухой массе;  $t$  – продолжительность сушки

На кривых сушки ярко выражены три периода:

0 – 1: период прогрева материала до температуры испарения влаги в данных условиях или температуры мокрого термометра (влажность плавно и незначительно убывает, пока материал не прогрелся);

1 – 2: участок постоянной скорости испарения. Здесь не происходит дальнейшего разогрева семенной массы. Все тепло расходуется на испарение влаги. Точка  $K_1$  – соответствует концу прямолинейного участка и значению *критической влажности* материала.

2 – 3: период убывающей скорости сушки.

После точки  $K_2$  кривая выходит на прямую горизонтальную линию, которая характеризует *равновесную влажность материала*. Скорость сушки материала равна нулю, процесс завершается.

Семенная масса обладает высокой тепловой инерцией, то есть медленно нагревается и медленно отдает тепло. Поэтому при сушке семенная масса никогда не достигает температуры сушильного агента. Тем не менее, за температурой семян при сушке необходимо следить. Для разных культур эта температура разная. Но ориентировочно для семян в среднем она не должна быть более 70 °С.

## 2.2. Зависимость параметров процесса сушки от свойств масличных семян

Процесс сушки масличных семян, как и других капиллярно-пористых коллоидных материалов, зависит от массообменных характеристик и структурно-механических свойств материала: гигроскопичности, величины удельной поверхности, скважистости, теплофизических свойств.

*Гигроскопичность* зависит от температуры и химического состава. Она отличается у семян с различной способностью поглощения влаги разными материалами (веществами). Гидрофильная часть, представляющая собой белки, углеводы, немного азотистых веществ – гигроскопична. Самая высокая гигроскопичность у клетчатки, то есть у семенной оболочки. Для семян с одинаковой масличностью гигроскопичность выше у тех, у которых выше содержание белка.

*Удельная поверхность* выражается отношением площади поверхности всех семян, содержащихся в 1 кг, к истинному объему, занимаемому массой. С увеличением удельной поверхности возрастает доля семенной оболочки и растет гигроскопичность. Величина удельной поверхности определяется величиной семени: чем мельче семена масличных культур, тем больше их удельная поверхность.

*Скважистость* семян зависит от их формы, размеров, шероховатости их поверхности. С увеличением скважистости и доли воздушной прослойки

между оболочками семян уменьшается теплоемкость, теплопроводность (характеризует теплоизоляционные свойства) и температуропроводность (скорость распространения температурных изменений в процессе нагревания или охлаждения).

Теплоемкость зависит от химического соотношения составных частей, так например, теплоемкость отдельных частей равна (кДж/кг·К):

|                          |      |      |      |
|--------------------------|------|------|------|
| сухие азотистые вещества | 1,41 | жиры | 2,05 |
| клетчатка                | 1,33 | вода | 4,19 |

С увеличением масличности и влажности теплоемкость, а также теплопроводность возрастают.

### 2.3. Основные способы и технологические режимы сушки

За основу классификации методов сушки принимают способы передачи тепла высушиваемому материалу.

Основные способы сушки:

- *Тепловые*, разделяющиеся по способу передачи тепла:

а) *конвективный* – осуществляется конвекцией от нагретого сушильного агента. Способ наиболее старый, простой, но не самый эффективный. Тепловой поток и поток испаряющейся воды не совпадают, они встречные, поэтому испарение воды тормозится (рис.7, а).

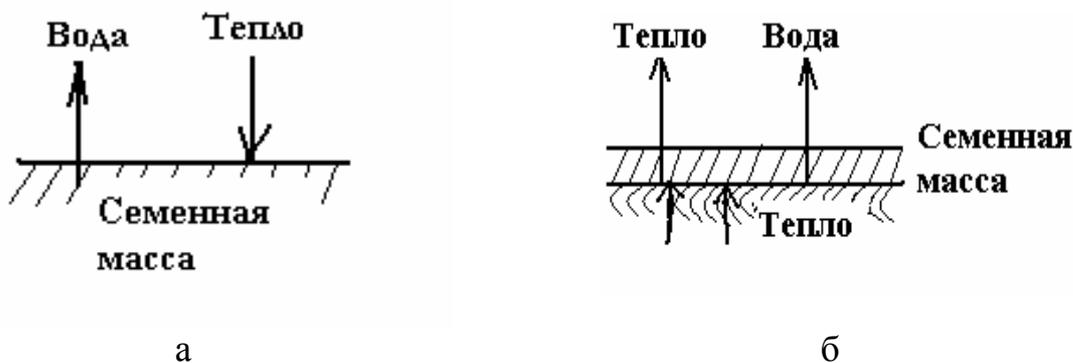


Рис. 7. Схема потоков при конвективной (а) и кондуктивной (б) сушке

б) *кондуктивный* – осуществляется за счет теплопередачи от нагретой поверхности к семенной массе. Для этого обычно используется нагретый транспортер. Тепловой поток и поток влаги совпадают по направлению, поэтому эффективность удаления воды выше (рис. 7, б).

в) *терморрадиационный* – осуществляется под действием ИК-излучения, которое вырабатывается генераторами ИК-лучей. В качестве ге-

нераторов ИК-лучей используют специальные лампы, а также нагретые до определенной температуры металлические и керамические поверхности.

Семена, поглощающие ИК-лучи, нагреваются изнутри и высыхают. При использовании данного способа происходит разогрев каждого семечка, теплообмен не играет существенной роли, и единственным ограничивающим фактором является прозрачность слоя семян для ИК-лучей, то есть они должны проходить через весь слой, поэтому его толщина не должна превышать 15 мм. Направление теплового и парового потоков совпадают. Ламповые радиационные сушилки отличаются малой теплоинерционностью, просты и сравнительно безопасны в эксплуатации. Метод достаточно эффективен, но распространен слабо, т.к. данные сушилки имеют низкий КПД и очень большой расход электроэнергии.

г) *сушка токами высокой частоты*. Высокочастотными электрическими генераторами создается электрическое поле, в которое помещается семенная масса. За счет вихревых потоков семена приводятся в высокочастотные колебания, и разогрев происходит частично за счет трения и частично за счет вихревых токов в самом семени. Часть электрической энергии превращается в тепловую. Способ относится к эффективным, поскольку при таком способе сушки материал нагревается очень быстро, температурный градиент имеет то же направление, что и градиент влажности, то есть от центра к периферии семени, что способствует перемещению влаги из внутренних слоев материала к поверхности. Но способ очень энергоемкий – расход электроэнергии в два с лишним раза больше, чем при конвективной сушке.

- *Контактная (сорбционная) сушка*. Суть ее заключается в передаче влаги от высушиваемой семенной массы к сорбенту, то есть к какому-то веществу с высокой гигроскопичностью (например, силикагель). Можно также смешать сырую семенную массу с высушенными семенами, при этом влажность выравнивается.

- *Вакуумная сушка*. Достоинство ее заключается в том, что при искусственном уменьшении давления воздуха над семенами влага из них испаряется при более низких температурах, что позволит сохранить качество семян. Такой способ сушки повышает интенсивность процесса при более низкой температуре нагрева семян. Нагрев семян производится от нагретой поверхности, то есть кондуктивным методом. Семена перемещаются по нагретому транспортеру в камере, где вакуум-насосом создается разрежение. Чем выше разность температур между греющей поверхностью и семенами и глубже вакуум, тем эффективнее сушка.

Положительной особенностью способа являются следующие признаки: процесс проходит при более низкой температуре, сушка более равномерная, расход воздуха меньше, чем при обычном давлении.

Отрицательными сторонами способа являются: повышенный расход электроэнергии, высокая стоимость, необходимость герметичности установки.

- *Сушка в кипящем слое.* Процесс сушки интенсифицируется за счет изменения структуры слоя – перехода от плотного к разрыхленному, что значительно увеличивает активную поверхность. Проводится в ротационной установке: слой семян высотой 450 мм, температура сушильного агента 180...200 °С. Скорость и количество сушильного агента должны обеспечивать витание семян. В зависимости от исходной влажности семена нагреваются до температуры 75...98 °С. Недостатком способа является очень быстрый нагрев семян до высокой температуры, в результате чего возможно, несмотря на небольшую продолжительность процесса, ухудшение качества семян и масла. В связи с этим целесообразно применение осциллирующего режима, то есть чередование периодов нагрева и охлаждения семян.

- *Комбинированный способ* представляет собой сочетание нескольких способов, чаще сочетают вакуумную сушку с конвективной, терморadiационную с конвективной.

- *Механический метод удаления влаги* применяется при наличии избыточного количества поверхностной влаги, которую можно удалить с помощью центрифугирования, отжима.

Наиболее распространенным из всех рассмотренных методов является конвективный метод. В качестве сушильного агента используется воздух, нагретый в калориферах электричеством, паром; применяется также смесь воздуха с топочными газами.

По способу подачи семян на стадию сушки различают следующие способы сушки:

- в плотном неподвижном слое;
- плотном движущемся слое;
- частично взвешенном состоянии;
- псевдоожигенном (кипящем) слое.

Эффективность процесса сушки зависит от исходной влажности семян, от их начальной температуры, от толщины и структуры слоя, от температуры и скорости сушильного агента.

У семян высокая инерция поля влажности. Это значит, что семенная масса быстрее прогревается, чем отдает влагу. Температура, до которой семенная масса прогревается при сушке, определяет жизнеспособность семян, способность к хранению, качество масла.

Таким образом, основными параметрами, определяющими интенсивность процесса и сохранение качества высушиваемых семян и содержащегося в них масла для всех методов и приемов сушки, являются: температура сушильного агента, продолжительность процесса, температура максимально-

го нагрева семян. Этими параметрами руководствуются при выборе режимов сушки.

Для установления оптимального технологического режима сушки необходимо, чтобы процесс был максимально коротким и при этом сохранялось или даже улучшалось качество семян и содержащегося в них масла, улучшались технологические свойства семян.

Параметры процесса сушки могут оказывать различное воздействие на качество семян и масла, содержащегося в них. Это воздействие зависит от термолабильности семян и их составных частей. Термолабильность определяется совокупным действием повышенной температуры и влаги. При определенном сочетании температуры и влаги могут создаваться благоприятные условия для протекания нежелательных процессов химического и биохимического окисления, гидролиз, денатурация белков, реже их разложение. Результатом нежелательных процессов является ухудшение качества масла и белковых концентратов, уменьшение выхода того или другого.

Рекомендуемая максимальная температура прогрева семян 65...70 °С.

#### 2.4. Изменение физиолого-биохимических свойств семян и качества масла при сушке

Тепловая сушка вызывает определенные изменения физиолого-биохимических свойств семян и качества содержащегося в них масла.

Воздействию тепла и влаги подвергается наиболее термолабильная часть семечка – это белки. По физико-химической структуре – это гидрофильные коллоиды, и в них прежде всего начинается денатурация. Внешне она выражается в потере растворимости в некоторых растворителях. Изменение растворимости есть следствие изменения структуры белков. При денатурации в результате разворачивания полипептидной цепи обнажаются гидрофобные углеводородные радикалы аминокислотных остатков, до этого находившиеся внутри глобулы под поверхностью из гидрофильных групп. У развернутых полипептидных цепей появляется возможность ассоциироваться в полимерные системы, вследствие чего растворимость белков теряется. Скорость и степень денатурации возрастает с увеличением влажности и температуры. Нижний температурный предел начала денатурации 47...51 °С при влажности 15...20 %.

Кроме денатурации белков наблюдается также разрушение ферментов: снижается активность липазы и липоксигеназы. Причем до температуры 50...67 °С активность липазы значительно повышается, а выше указанной температуры наступает инактивация ферментной системы.

Достаточно глубоко проходят и биохимические процессы: окисление, гидролиз, которые катализируются ферментами. О глубине этих процессов

судят по величине кислотного числа. Например, для семян подсолнечника кислотное число в зависимости от температуры нагрева изменяется, проходя три периода (рис. 8). В первом периоде активируется ферментная система, результатом чего является образование свободных жирных кислот.

Снижение кислотного числа на втором участке обусловлено связыванием свободных жирных кислот в белково-липидные комплексы.

При температуре свыше 80 °С (3-й участок) начинается термический распад глицеридов с образованием низкомолекулярных кислот, усиливаются окислительные процессы. Одновременно наблюдается резкое увеличение перекисного числа, изменяется цветность масла, снижается йодное число.

Окислительные процессы обусловлены наличием в глицеридах ненасыщенных жирных кислот, которые под действием липоксидазы, катализирующей окисление ненасыщенных жирных кислот, окисляются с образованием перекисей по месту двойных связей.

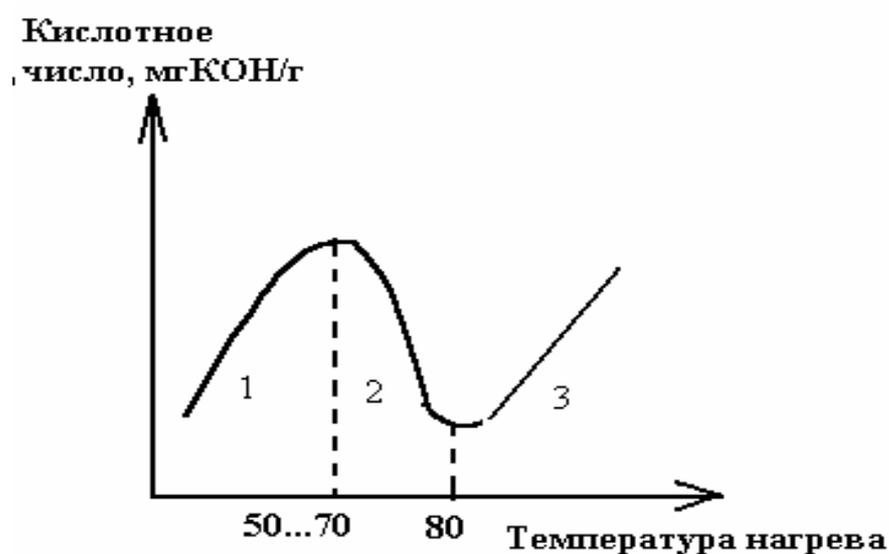


Рис. 8. Изменение кислотного числа в семенах подсолнечника при нагревании: 1-й участок – активирование ферментной системы; 2-й участок – инактивация ферментной системы; 3-й участок – ничем не сдерживаемые процессы разрушения

Окисление масел замедляется при наличии в них природных антиоксидантов – фосфолипидов и токоферолов. Они содержатся во всех семенах. С ростом температуры растворимость фосфолипидов в маслах возрастает, они перемещаются в масляную часть и тормозят окисление.

При тепловой сушке создаются благоприятные условия для взаимодействия реакционноспособных веществ и образования новых соединений. Например, аминокислоты вступают во взаимодействие с сахарами с образованием меланоидинов. Эти вещества ответственны за изменение цвета, вкуса, аромата семян и масла. Подобные соединения (при температуре более 80 °С)

образуются и по реакции с фосфолипидами (меланофосфолипиды). Они также придают темный цвет семенам и маслу.

С увеличением температуры прогрева семян в масляной части растворяются некоторые вещества нелипидного характера. В результате выход сырого жира возрастает, но питательная ценность масла снижается.

Под влиянием высоких температур возможно разрушение витаминов, находящихся в зародыше и других частях семени.

При прогреве в семенах может увеличиться содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Некоторые из них являются канцерогенами, например, 3,4-бензпирен. Они могут попадать в семенную массу из внешней среды (атмосферы, почвы), синтезироваться самим растением или поступать с сушильным агентом в случае неполного сгорания топлива.

## 2.5. Технология и техника сушки

Наиболее распространенным методом снижения влажности семян перед хранением является тепловая сушка, при которой семена нагреваются сушильным агентом и испаряющаяся из семян влага при этом удаляется.

Общая схема тепловой сушки семян приведена на рис. 9. Процесс сушки осуществляется в два этапа. На первом – в зоне сушки или сушильной камере 2 семена нагреваются смесью воздуха и дымовых газов, получаемых в специальной топке 1. Часть воды, содержащаяся в семенах до сушки, при этом испаряется, а высушенные семена охлаждаются в зоне охлаждения охладительной камеры 3 путем продувки через них атмосферного воздуха.

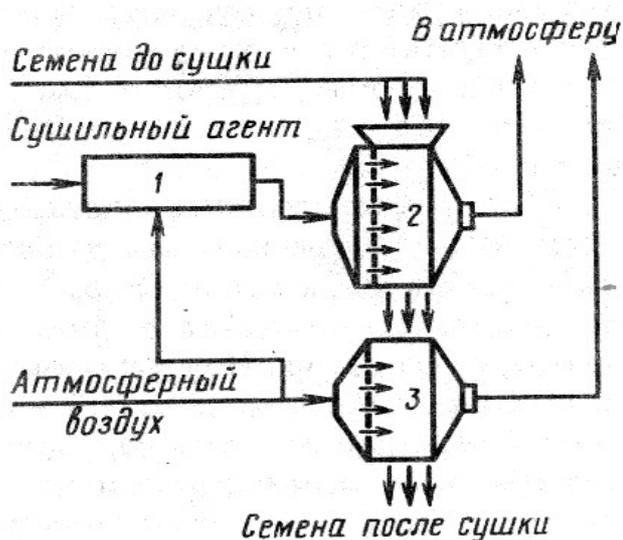


Рис. 9. Схема тепловой сушки семян: 1 – топка; 2 – сушильная камера; 3 – охладительная камера

При двухступенчатой сушке зона сушки разделена на две части: вначале семена сушатся при невысоких температурах, а затем досушиваются при повышенных температурах. Охлаждение семян (после второй ступени) также производится атмосферным воздухом.

Процесс сушки должен обеспечить необходимое снижение влажности семян, сохранение их качества и масла в них, последующее уменьшение температуры, не превышающей 5 градусов температуры окружающей среды.

В промышленности для сушки масличных семян широко применяют сушилки шахтного типа, барабанные, с кипящим слоем.

### Шахтные сушилки

Схема работы сушилки шахтного типа изображена на рис. 10. Высушиваемые семена из бункера 1 проходят через сушильную шахту 2 где расположены короба, подводящие и выводящие из шахты газовоздушную смесь. Семена под действием своей массы опускаются между коробами, нагреваются смесью воздуха и дымовых газов. При этом влага из семян испаряется, а высушенные семена охлаждаются в охлаждающей камере 4, где через семенную массу подают холодный атмосферный воздух. Высушенные семена поступают в приемный бункер 5. Сушка может проводиться по одно- и двухступенчатому режиму. На первой ступени в верхней части 2 семена сушат при низких температурах дымовыми газами, смешанными с атмосферным воздухом. На второй ступени осуществляют окончательное досушивание, которое происходит в нижней части 3 дымовыми газами при повышенных температурах, что экономически более выгодно.

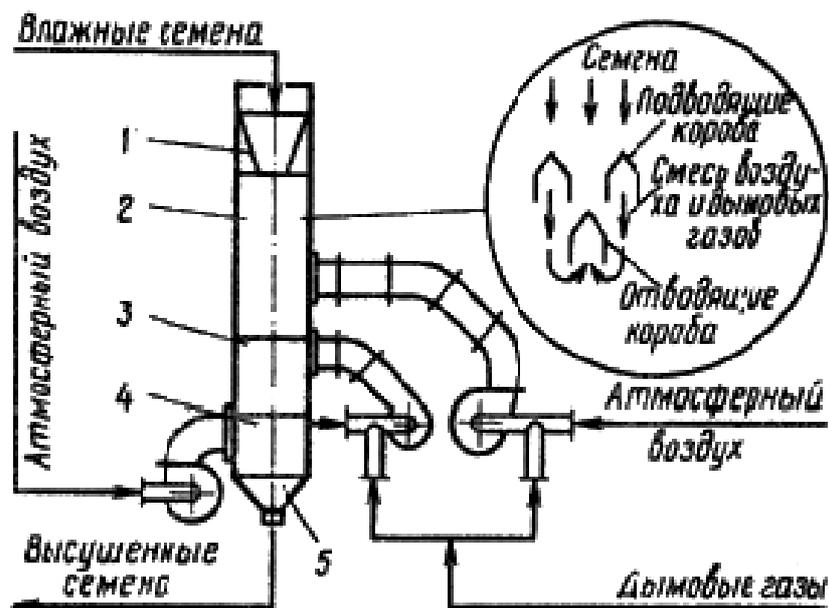


Рис. 10. Шахтные сушилки

Режим сушки: толщина слоя – 250 мм, температура сушильного агента – 180 °С, продолжительность сушки – 40...60 мин, температура прогрева семян – 65...70 °С.

Недостатки сушилки: неравномерный прогрев семенной массы, плохой воздухообмен, очень быстро увлажняется сушильный агент, самый низкий влагосъем, самое длительное время сушки. Семена приходится либо пропускать через шахту несколько раз, либо наращивать высоту шахты, либо увеличивать количество секций.

Основные марки сушилок шахтного типа: ВТИ, СЗШ, ДСП.

### *Барабанные сушилки (рис. 11)*

Основным рабочим органом сушилки является цилиндр 1 наружным диаметром 1760 мм и длиной 9000 мм, называемый барабаном. Он укреплен на двух роликовых бандажах 2. К передней части барабана при помощи специального уплотнения присоединен патрубок 4 для подвода сушильного агента, поступающего из топки 5. Противоположный конец барабана посредством уплотнения вводится в выводную камеру, соединенную с вентилятором, отсасывающим отработанный сушильный агент. Внутри барабана имеются подъемно-перемешивающие устройства, состоящие из уголков, равномерно приваренных по внутренней окружности барабана и к уголкам согнутых планок, называемых лопатками. В начале барабана на участке длиной 1000 мм имеется двухзаходный шнек для равномерной подачи семян к первой подъемной системе, который одновременно предотвращает попадание семян в газозход.

Сырые семена поступают внутрь барабана по течке 3 в месте ввода в сушилку сушильного агента и перемешиваются внутри барабана в том же направлении, что и газозвоздушная смесь (используется принцип прямотока).

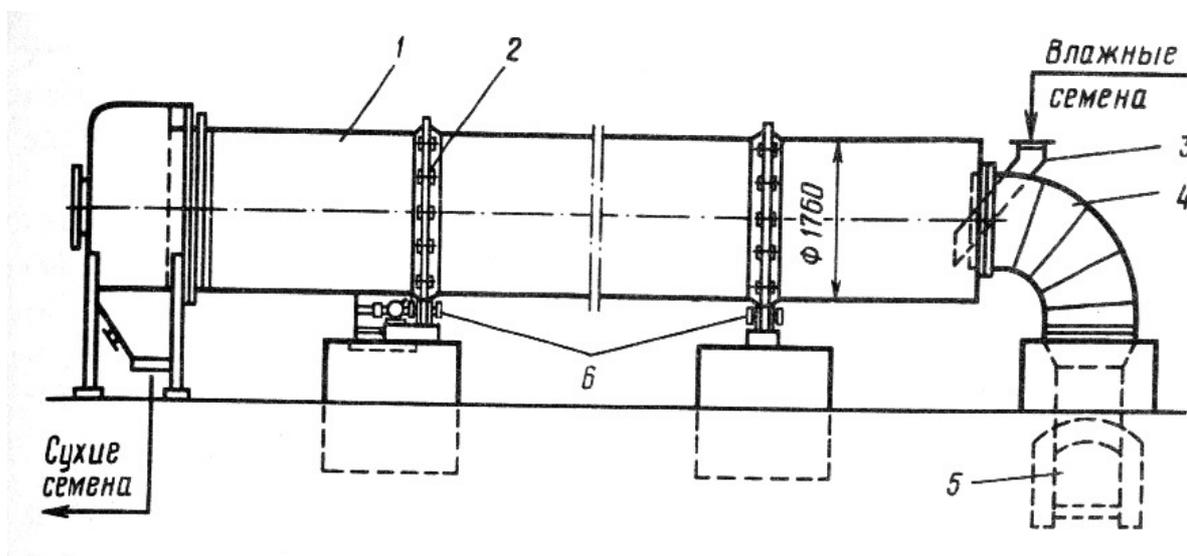


Рис. 11. Барабанная сушилка

Определенный слой семян внутри барабана поддерживается с помощью подпорного кольца б, приваренного на выходном торце барабана. Внутри семена, попадающие на лопажки подъемно-перемешивающих устройств, при вращении барабана поднимаются на некоторую высоту, затем ссыпаются вниз и при этом интенсивно продуваются и перемещаются потоком сушильного агента.

Режим сушки: температура сушильного агента 200...350 °С, температура прогрева семян 60...65 °С, толщина слоя до 100 мм, время сушки 15...20 мин.

Барабанные сушилки сравнительно просты по конструкции, несложны в эксплуатации, имеют небольшую высоту, невысокую стоимость.

Однако они имеют и существенные недостатки: малое использование объема барабана, большая занимаемая площадь, повышенный расход электроэнергии, низкий съём влаги: за один проход снимается 3...5 % влаги (в основном удаляется влага поверхностная из лузги), неравномерность сушки семян.

Таким образом, рассмотренные барабанные и шахтные сушилки не обеспечивают высокого съема влаги за один пропуск семян через сушилку.

Для интенсификации процесса сушки и повышения съема влаги в последние годы нашли применение *дифференцированные режимы сушки и сушка с рециркуляцией семян*.

Применение пониженных температур сушильного агента на первой ступени и повышенных – на второй ступени (но сушильного агента в меньшем количестве), называют дифференцированным режимом сушки. С этой целью проводят реконструкцию существующих сушилок.

#### *Сушилка пневмогазовая*

Принцип действия такого типа сушилок основан на предварительном нагреве и частичной подсушке семян во взвешенном состоянии в сушильной трубе во время перемещения их сушильным агентом. Взвесь сушильного агента с семенами поступает в двухкамерный влаготеплообменник, в котором перегородка гасит скорость сушильного агента. Более тяжелые недосушенные семена оседают в шахте первой камеры, более легкие сухие – в шахте второй камеры, где они охлаждаются. Отработанный сушильный агент подается на очистку в циклон. Недосушенные семена норией подаются в сушильную трубу выше точки подачи сушильного агента.

Режим сушки: температура сушильного агента 250...300 °С, скорость сушильного агента 25...30 м/с, температура прогрева семян 55...60 °С, влагосъем 10...12 %.

## Контрольные вопросы

1. Теоретические основы сушки масличных семян.
2. Необходимость сушки масличных семян и виды сушки в технологии производства растительных масел.
3. Физиологические и биохимические изменения, происходящие в семенах в процессе сушки.
4. Какие основные типы сушилок используют для сушки масличных семян?
5. Необходимость, цель и параметры технологического контроля при сушке масличных семян.

### **3. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ**

#### 3.1. Целесообразность отделения оболочек от ядра

Семена масличных культур, если их рассматривать с точки зрения технологии переработки, состоят из ядра и оболочки, между которыми имеется воздушная прослойка разной толщины. У большинства семян имеется только семенная оболочка, у некоторых культур (подсолнечник) есть и семенная и плодовая оболочки, соответственно и две воздушные прослойки.

Состав и питательная ценность ядра и оболочки различны. Ядро содержит такие ценные группы веществ, как липиды и протеины. В оболочке содержится значительное количество безазотистых веществ и клетчатки, липидов всего не более 2 %. К тому же в липидах оболочки содержится много свободных жирных кислот, восков, воскоподобных веществ. В процессе извлечения масла они могут переходить в продукт и тем самым ухудшать его качество. В связи с этим оболочку необходимо удалять. Количество оболочки значительно влияет на качественные характеристики масла. Например, из экспериментальных данных для подсолнечного масла (табл. 3) следует, что чем больше лузги содержит перерабатываемое ядро, тем выше кислотное число извлекаемого масла, содержание продуктов окисления и неомыляемых веществ.

Повышение лузжистости влияет и на товарный вид масел: вкус, запах, цвет, прозрачность.

Увеличение содержания оболочки в перерабатываемом ядре ухудшает и качество шрота в результате обогащения его клетчаткой и безазотисто-экстрактивными веществами.

Оболочка, будучи легче, чем ядро, уменьшает процент использования полезного объема производственного оборудования, что снижает его производительность. Так, при увеличении лужистости с 3 до 8 % производительность форпрессового и экстракционного цехов уменьшается примерно на 10 %.

Таблица 3

Влияние лужистости на качественные показатели подсолнечного масла

| Показатель качества               | Лужистость ядра, % |       |               |             |
|-----------------------------------|--------------------|-------|---------------|-------------|
|                                   | 0 (ядро)           | 10    | 21,5 (семена) | 100 (лузга) |
| Масличность, %                    | 59,70              | 55,65 | 47,21         | 2,00        |
| Кислотное число, мг КОН/г         | 0,55               | 0,73  | 0,87          | 23,13       |
| Содержание неомыляемых веществ, % | 0,41               | 1,77  | 1,85          | 10,52       |
| Содержание продуктов окисления, % | 0,36               | 0,55  | 0,68          | 1,80        |

Значительное содержание плотной оболочки в ядре препятствует его хорошему измельчению. С увеличением количества лузги возрастают потери масла. Лузга обладает пористой структурой, поэтому легко поглощает масло на всех стадиях, с трудом отдает его в процессе прессования и даже экстракции, в результате часть масла остается в жмыхе и шроте.

Таким образом, из вышеизложенного следует, что необходимо максимально отделять оболочку от ядра.

Однако не все семена освобождают от оболочек. У некоторых культур (лен, рапс, рыжик, сурепка) семенная оболочка срослена с зародышевой частью семечка (эндоспермом). При отделении оболочки эндосперм тоже отделяется вместе с ней и переходит в лузгу, в результате чего заметно снижается выход масла. Поэтому семена этих культур перерабатываются вместе с лузгой.

Семена хлопчатника, клещевины, сои перерабатывают с отделением оболочки, так как семенная оболочка с ядром у них не срастается.



Оболочки различных масличных семян в значительной степени отличаются по своим свойствам.

У *подсолнечника* и в какой-то степени у *сои* оболочка хрупкая, кроме того, у подсолнечника она волокнистая, легко раскалывается вдоль волокон. Для обрушивания этих культур применяют действие удара, которое используют в бичевых или центробежных семенорушках.

*Клещевина* имеет тоже хрупкую оболочку, но кроме этого высокомасличное мягкое ядро. Под действием удара ядро бы разрушилось. Здесь подходит метод сжатия. Он осуществляется между двумя гладкими валками в специальных шелушильных машинах.

*Горчицу* и *косточковые культуры* также обрушивают методом сжатия.

*Хлопчатник* имеет прочную эластичную оболочку, плотно облегающую ядро и покрытую пухом. Для шелушения хлопчатника применяют метод скалывания (для низкоопушенных семян тонковолокнистого хлопчатника) с применением ножевых шелушителей и метод разрезания (для высокоопушенных семян средневолокнистого хлопчатника) с применением дисковых шелушителей.

На физико-механические свойства семян оказывает влияние предварительное прогревание. Так, для подсолнечника нагрев до 50 °С увеличивает хрупкость оболочки на 15...20 %, что значительно облегчает процесс обрушивания.

Кроме указанных механических свойств оболочек на эффект обрушивания оказывает влияние толщина оболочки, толщина воздушной прослойки, прочность связи оболочки с ядром, направление удара.

Направление удара играет существенную роль в обрушивании. Прочность оболочки в направлении разных осей неодинакова. По данным исследователей средние величины удельной работы разрушения семян подсолнечника значительно отличаются в зависимости от расположения семян (рис. 12):

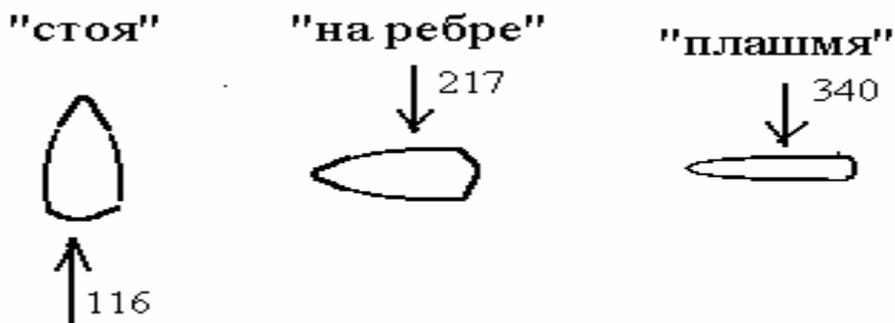


Рис. 12. Зависимость величины удельной работы (Дж/кг) от направления удара

Особенно трудно обрушивать высокомасличные сорта подсолнечника. Их семена имеют тонкую и прочную оболочку, меньшую воздушную прослойку между ядром и оболочкой, мягкое масляное ядро.

Величины прилагаемых усилий для обрушивания будут меняться в зависимости от размера семян. У мелких семян более тонкая и менее хрупкая оболочка, но она прочнее крепится к ядру. Из-за этих различий перед обрушиванием семена *фракционируют* по размерам. Это позволяет оптимизировать данную операцию. Кроме того, фракционирование способствует лучшему сохранению семенной массы, так как в результате можно выделить мелкую фракцию, которая обогащена незрелыми, морозобойными семенами, сорной и масляной примесью, поэтому чрезвычайно неустойчива при хранении. Ее рекомендуется перерабатывать в первую очередь. Крупная же фракция, максимально освобожденная от примесей, при создании нормальных условий может храниться в течение длительного времени без ухудшения качества. Данная стадия применяется для семян подсолнечника, сои, клещевины.

### 3.3. Техника обрушивания семян

Для обрушивания семян подсолнечника и сои широко применяют бичевые семенорушки МНР и центробежные обрушивающие машины А1-МРЦ.

#### Бичевая семенорушка (рис. 13)

Рабочий орган – цилиндрический барабан 1, который вращается со скоростью 560...630 об/мин, диаметром 800 мм, длиной 972 мм. По контуру барабана приварено 16 бичей 2 из полосовой стали. Вся конструкция окружена кожухом. В левой части кожуха неподвижно прикреплена рифленая дека 4 с высотой около примерно 25 мм.

Зазор между декой и барабаном может регулироваться в зависимости от влажности и размера семян с помощью регуляторов 3,5. Семена из приемного устройства с помощью питательного валика 6 попадают на бичи 2, частично раскалываются, затем центробежной силой отбрасываются на деку 4 (причем целые семена попадают на деку стоя).

Вся масса с деки вновь попадает на бичи, затем вновь на деку и т.д. до тех пор, пока семена не пройдут весь путь между декой и барабаном. При этом о бичи и деку ударяются не только целые семена, но и ядра, поэтому появляется сечка и масляная пыль.

Недостатком данной семенорушки является неравномерное обрушивание, связанное с тем, что, во-первых, движение семян от бичей к деке и от деки к бичам неупорядоченное; во-вторых, сила удара по семенам зависит от того, на какое место бича оно попадает; в-третьих, волнистая поверхность деки также обуславливает неравномерность удара семени о нее.

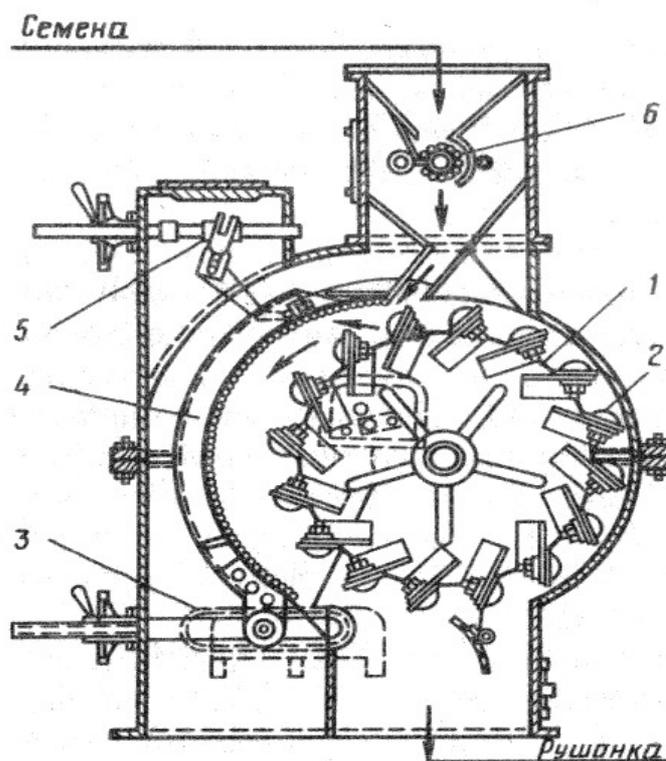


Рис. 13. Семенорушка МНР

Содержание необрушенных семян и недоруша в рушанке достигает 25 %, сечки – 15 %, масляной пыли – 15 %.

Центробежная семенорушка (рис. 14).

Обрушиваемые семена непрерывным равномерным потоком подаются на предохранительную решетку 3. Здесь они распределяются тонким слоем по всей ее площади и проходят сквозь отверстия в решетке. Примеси более крупные, чем семена, отделяются. Затем семена через распределительное устройство 2 поступают в радиально направляющие каналы 6 на рабочих дисках 4 вместе со всасываемым воздухом. Из радиальных каналов семена выбрасываются на кольцевую деку 5. При этом происходит обрушивание семян за счет однократного направленного удара вдоль большой оси семечки. Вал ротора 7 приводится во вращение от электродвигателя, частота вращения ротора  $2100...2400 \text{ мин}^{-1}$ .

Рушанка по патрубкам 11 из корпуса 1 поступает на цилиндрическое сито 13 циклона 12, где происходит отделение от масляной пыли, которая затем по течке 9 выводится и присоединяется к готовому ядру, свободному от лузги. Рушанка по течке 10 поступает в аспирационную вейку.

Преимуществом центробежной обрушивающей машины является ориентирование семян длинной осью в момент удара о деку. При таком ударе всю нагрузку воспринимает лузга, и ядро почти не дробится, в то время как

при ударе плашмя вместе с лузгой сильно дробится и ядро, и потери масла с отходящей лузгой резко увеличиваются.

Сравнительные промышленные испытания семенорушек МНР и РЗ-МОС при переработке семян подсолнечника показали преимущества центробежной семенорушки: ее производительность была в четыре раза выше при меньших потерях масла в лузге.

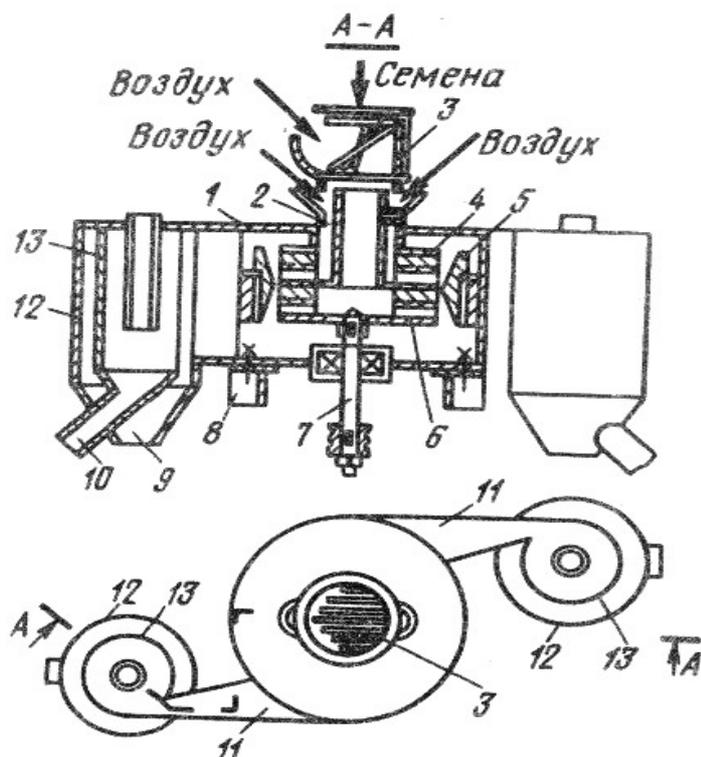


Рис. 14. Центробежная обрушивающая машина РЗ-МОС

### 3.4. Современные методы обрушивания семян

Из современных направлений обрушивания семян наибольший интерес представляют следующие методы:

а) *аэродинамический*, суть которого заключается в том, что семена, поступающие в аппарат, подхватываются сжатым воздухом, который подается через сопло, затем семена выбрасываются через трубу в разгрузитель. Обрушивание происходит под действием нескольких факторов: истирающее действие самой струи, сил инерции, избыточного давления в самих семенах. Однако точный механизм процесса пока полностью не изучен.

б) создание *избыточного давления внутри семени*. Оболочка семени разрушается под действием избыточного давления, которое создается внутри семени. Используется в нескольких вариантах:

- в электромагнитном поле очень высокой частоты (сверхзвуковой). За счет действия этого поля в семенах происходит практически мгновенное испарение влаги из ядра. Пары концентрируются в пространстве между ядром и оболочкой, давление внутри семени повышается, происходит разрыв оболочки.
- многократным изменением давления. Осуществляется в герметизированной камере, где семенная масса подвергается пульсирующему действию высокого давления. В результате чего появляются усталостные явления в семенах, что вызывает разрушение их оболочки.
- однократным сбросом давления. В семенах, помещенных в рабочий аппарат, создается определенное повышенное давление. После быстрой разгерметизации семена попадают в приемник с атмосферным давлением. На какое-то мгновение создается перепад между давлением внутри семени и снаружи, что приводит к разрушению оболочки.

Общие достоинства данного метода: не происходит значительного разрушения ядер, мало сечки и масляной пыли.

Недостатки: дорогое техническое воплощение этих методов и большие затраты электроэнергии.

### 3.5. Сепарирование рушанки

Цель сепарирования рушанки заключается в максимальном отделении лузги от ядра при минимальных потерях масла.

Для разделения используют различие в свойствах отдельных компонентов рушанки:

- в линейных размерах;
- по массе;
- в аэродинамических свойствах;
- по способности к электризации (по электрофизическим свойствам);
- по сопротивлению трению.

Однако ни одно из перечисленных свойств не позволяет качественно разделить смесь. На практике находит применение комбинация методов:

- рассев на сите (по размерам) + аспирация (по аэродинамическим свойствам)
- под действием центробежных сил (по массе) + электрофизическое действие (способность электризоваться).

## Аспирационная семеновейка

Аспирационная семеновейка состоит из двух частей: рассев (рис. 15а) и аспирационная камера (рис. 15б). Рассев представляет собой деревянный короб, внутри которого расположены три яруса слегка наклоненных сит. Рассев совершает круговые движения. Размеры отверстий сит уменьшаются сверху вниз. В результате рассева рушанка разделяется на 7 фракций.

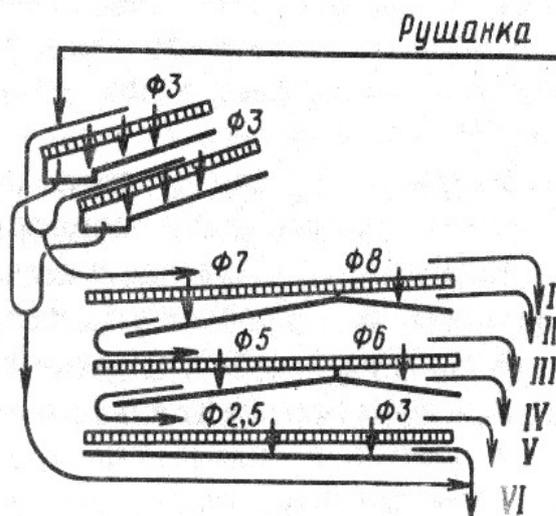


Рис. 15 а. Рассев

Каждая из шести фракций по своему рукаву направляется в свой вертикально расположенный канал аспирационной камеры (рис. 15б).

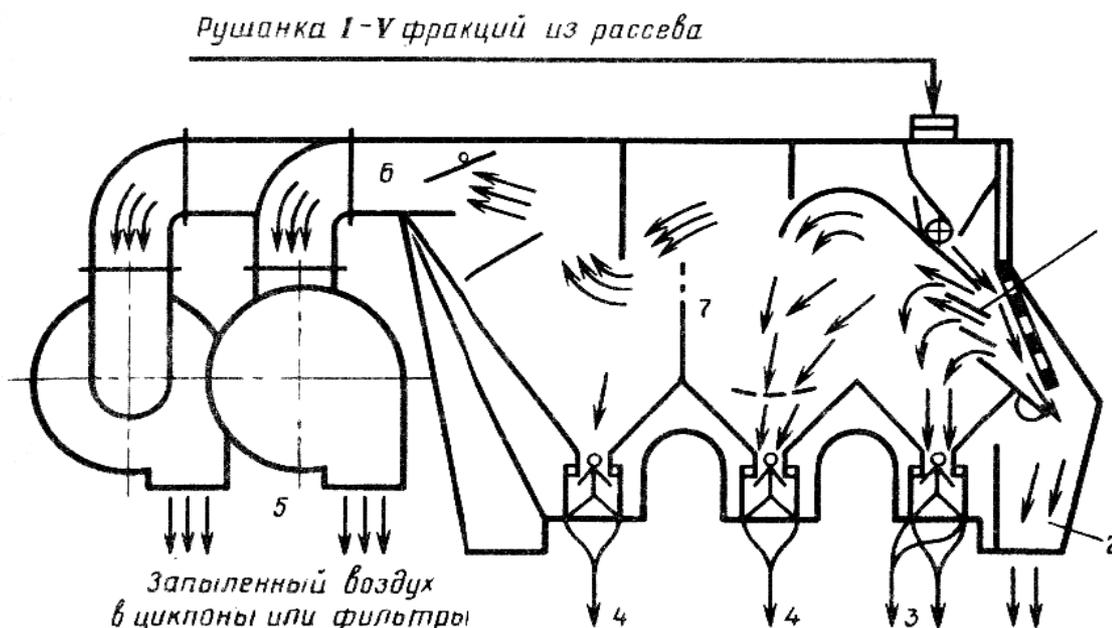


Рис. 15б. Аспирационная камера

В канале находится несколько наклонных полочек 1 (жалюзи). Фракция рушанки, пересыпаясь по полочкам, попадает под действие воздушного потока, который создается вентилятором 5. Самая тяжелая фракция (целые ядра) оседает в кармане 2. В кармане 3 оседает фракция, которая должна направляться на повторное разделение и поэтому называется перевеем. Лузга воздухом уносится дальше и проходит между вертикальными перегородками 7, ударяется о них, замедляет движение и оседает в конусных карманах 4. Для регулирования скорости воздушных потоков в каналах имеется шибер 6.

Недостаток данного вида оборудования заключается в сильном замасливании лужки и, как правило, потере масла, также в необходимости больших производственных площадей, энергозатрат и обслуживающего персонала.

Более совершенная по конструкции семеновейка данного типа марки Р1-МСТ, в которой масличность лужки снижается на 0,25%.

Среди других способов разделения рушанки наиболее известен электростатический, который реализован в электросепараторе (рис. 16).

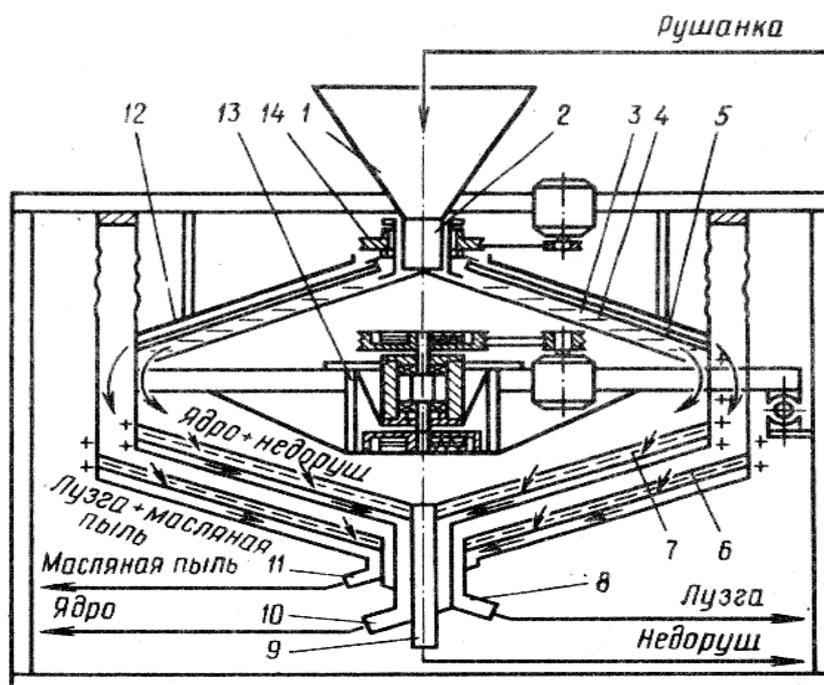


Рис. 16. Электросепаратор МСР-1

Рушанка подается в бункер-питатель, затем через трубу питателя 2 попадает на вершину конического заземленного электрода 3. При движении вниз рушанка пересыпается по ребрам – ступенькам 4, закрепленным на поверхности электрода. Масличная пыль и лужга, получившая заряд от заземленного электрода, движутся вверх, в направлении к потенциальному элект-

троду 12. При подходе к нему они увлекаются вращающимися лопатками 5 и под действием центробежных сил выводятся из поля. Лузга и масличная пыль подаются на нижнее коническое сито 6 для разделения. Ядро и недоруш в смеси сходят с заземленного электрода и распределяются поровну на две верхние ситовые поверхности 7, на которых отделяется ядро. Фракции ядра и масличной пыли объединяются и направляются на измельчение. Недоруш направляется на повторное обрушивание, а лузга выводится из цеха.

Производительность электросепаратора составляет 200 т /сутки. Однако лузжистость ядра остается высокой и составляет 8...12 %.

Достоинства конструкции: за один проход удается разделить рушанку на фракции. Масличность лузги меньше на 0,2...0,5 % по сравнению с лузгой аспирационной семеновейки.

Соевая рушанка подвергается разделению на семеновейках или в сепараторах.

Хлопковая рушанка разделяется по линейным размерам на ситовых поверхностях: двойной встряхиватель, биттер-сепаратор, пурифайер, комбинированный шелушильно-сепарационный агрегат.

Клещевина подвергается обработке на комбинированных машинах (шелльмашинах), в которых осуществляется и обрушивание и сепарирование. Это связано с тем, что клещевина содержит высокомасличное ядро и хрупкую оболочку.

Поскольку на описанном оборудовании полностью не удается разделить рушанку на фракции, технологический процесс производства масла включает повторные операции, а именно: ядра целых семян и сечки идут на повторное освобождение от лузги, чтобы снизить ее содержание до 3 %. Недоруш идет на повторное обрушивание. Лузга также идет на повторную обработку с целью снижения ее масличности, которая не должна превышать 2,8 %.

### 3.6. Измельчение масличных семян, ядра и продуктов их переработки

Измельчение в производстве растительных масел играет важную роль и встречается в технологической цепочке неоднократно:

- измельчение семян (лен, конопля) или ядер (подсолнечник, клещевина) с образованием *мятки*;
- измельчение жмыха перед подготовкой к экстракции;
- измельчение ядер и семян для прямой экстракции (плющение).

Основная задача измельчения – максимально возможно разрушить клеточную структуру, чтобы более полно извлечь масло и создать условия для

минимального механического воздействия при извлечении масла прессованием.

При измельчении семян клеточная оболочка разрушается, при этом масло из клетки вытекает, но за счет поверхностных сил удерживается. Полученная в результате измельчения мятка обладает огромной поверхностной энергией, величина которой тем больше, чем больше поверхность частиц, т.е. чем выше степень измельчения.

Большая удельная поверхность возникает в результате изменения структуры материала. Часть внутренней поверхности семечка становится внешней, вскрываются закрытые капилляры и система закрытых межклеточных пространств, обнажается протоплазма. Поверхность таких частиц обладает запасом свободной энергии, поэтому значительная доля высвободившегося масла сразу же адсорбируется на поверхности частиц мятки.

При измельчении необходимо достичь оптимальный размер частиц и наибольшую их однородность, кроме того, измельченный материал должен обладать достаточной рыхлостью, проницаемостью, стойкостью (для лепестка).

Необходимость оптимального размера частиц связана с двумя основными моментами:

- при очень высокой тонкости помола образуется большое количество маслянистой пыли, что приводит к слеживанию материала, агрегированию частиц за счет частично клеящих свойств маслянистой пыли;
- крупные размеры частиц ухудшают в дальнейшем процессы прессования и экстракции, которые связаны с явлениями диффузии, то есть чем меньше был бы размер частиц, тем легче бы отделялось масло при прессовании и быстрее происходила экстракция.

Хорошо измельченная мятка должна состоять из однородных по размеру частиц, проходящих через сито с отверстиями диаметром 1 мм, не должна содержать целых, неразрушенных клеток, и в то же время содержание очень мелких (мучнистых) частиц в ней должно быть невелико.

### *3.6.1. Теоретические основы процесса измельчения семян и ядер*

Необходимая степень измельчения семян достигается путем воздействия на обрабатываемый материал механическими усилиями: раздавливание, срез, раскалывание, удар, истирание или их сочетание. Для продуктов, отличающихся твердостью, при измельчении наиболее эффективно применять ударное и раздавливающее усилие, для хрупких продуктов – раскалывающее, а для вязких продуктов, к числу которых относится большинство продуктов переработки семян, – раздавливающее в сочетании с истирающим действием.

Поэтому для получения мятки чаще всего применяют вальцовые станки, в которых используют раздавливание.

При попадании семечка в зазор между валками на него будут действовать противоположно направленные силы, схема действия которых изображена на рис. 17.

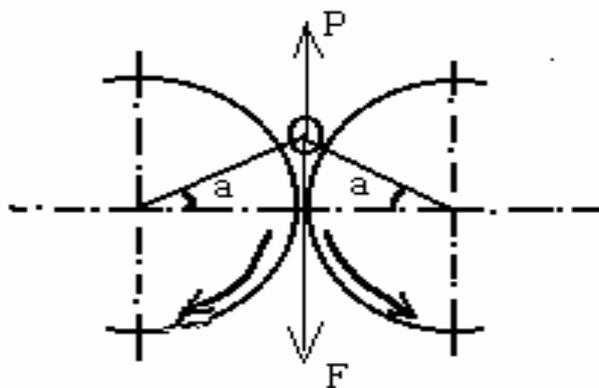


Рис.17. Силы, действующие на частицу при раздавливании

В идеальном случае, когда соблюдаются условия гладкой поверхности валков и одинаковой окружной скорости их вращения, в момент соприкосновения частицы с валками на нее действуют две силы:

$F$  – сила трения, увлекающая частицу в зазор между валками;

$P$  – сила реакции валков, которая выталкивает частицу.

Основное условие измельчения:  $F > P$ .

Величина силы  $P$  определяется углом захвата  $\alpha$  (образованной линией, соединяющей центры валков, и линией, соединяющей центр валка и точку касания частицы с поверхностью валка). Чем меньше величина данного угла, тем меньше сила  $P$ . Угол захвата частиц будет тем меньше, чем больше диаметр валков, чем меньше размеры частиц, чем больше расстояние между валками.

Величина силы  $F$  определяется величиной угла трения и зависит от характера поверхности вала и частицы и их упругопластических свойств.

В реальных условиях захват частиц происходит сложнее. Во-первых, в зазор обычно попадает несколько частиц или их агрегаты, поэтому угол захвата увеличивается, ухудшаются условия захвата; во-вторых, выделяющееся масло смазывает валки и уменьшает угол трения. Кроме того, угол трения зависит от влажности материала. Так, материал повышенной влажности обладает большой пластичностью и из него сильнее выжимается масло.

На практике применяют ряд мер с целью улучшения процесса измельчения:

-предварительное дробление для уменьшения размера частиц (например, для семян сои включают дополнительную стадию дробления);

-изменение поверхности валов, например, сделать ее рифленой. Тогда увеличится коэффициент трения, улучшится захват, к тому же добавляется скалывание.

В процессе измельчения семян разрушение различных тканей семени происходит неодинаково. Наибольшую прочность в ядре имеет эпидермис и прилегающие к нему ткани, а также зародышевая ткань. Прочность семенной оболочки обычно больше прочности ядра. Количество разрушенных клеток в мятке зависит от способа измельчения и физических свойств семян.

При изучении под микроскопом измельченных на пятивальцовом станке ядер подсолнечника получено, что после первого прохода наблюдается лишь частичное разрушение клеточных структур; после второго – дальнейшее разрушение клеточных структур и частично начинается разрушение липидных гранул и алейроновых зерен; после третьего – клеточные стенки разрушены полностью; после четвертого – остается еще незначительная часть не разрушенных липидных гранул.

При измельчении в материале следует сохранять определенное сочетание упругих и пластических свойств. Чем выше хрупкость, тем легче материал измельчается. Но абсолютно сухое вещество при измельчении превратится в пыль. Особенно это опасно для низкомасличных семян. У высокомасличных семян ввиду значительного выделения масла при измельчении пластические свойства сохраняются. Соотношение упругих и пластических свойств регулируют температурой и влажностью исходного материала. С уменьшением влажности и снижением температуры возрастает хрупкость и снижается пластичность.

При измельчении масличных семян происходят и некоторые *биохимические* изменения. Под влиянием механических воздействий – трения и давления – а также теплового воздействия в результате измельчения возможна денатурация белков в мятке, а также разукрупнение образовавшихся белковых частиц вследствие разрыва и окисления дисульфидных мостиков и пептидных связей.

### *3.6.2. Технология измельчения семян, рушанки, жмыха, ядра*

Наиболее часто в промышленности применяются пятивальцовые станки ВС-5 (рис.18) и однопарные рифленые станки (рис.19).

Пятивальцовый станок предназначен для измельчения ядра и семян большинства масличных культур. Верхний валок, а иногда и два верхних рифленые, нижние – гладкие. Все валки закреплены на станине 1.

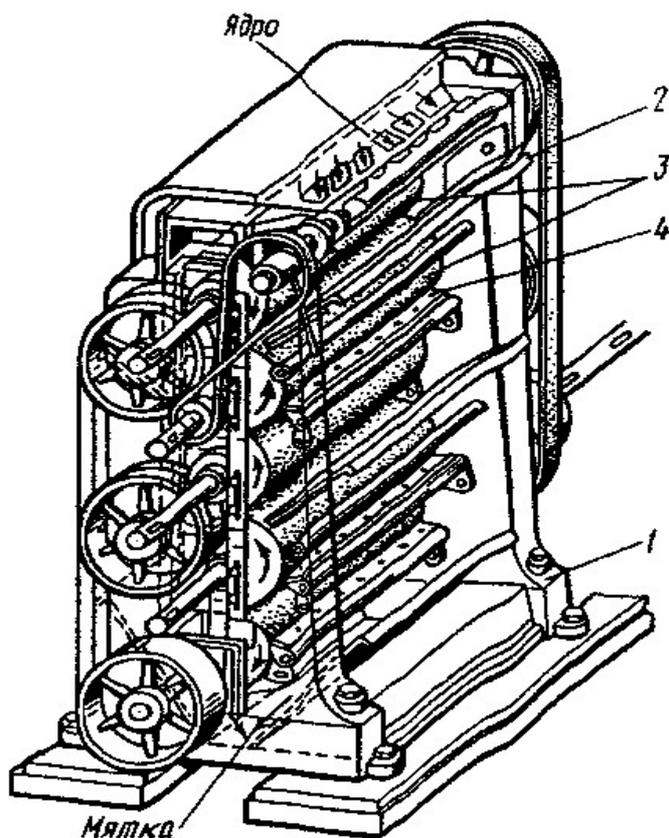


Рис. 18. Пятивальцовый станок ВС-5

Измельчаемый материал направляется с помощью щитов 2 в проход между чугунными валками 3, которые расположены один над другим и вращаются. Ножи 4 снимают налипший к валкам материал. При максимальном измельчении материал делает 4 прохода. Все пять валков приводятся во вращение от привода.

Для высокомасличных семян (клещевина, соя) используется однопарный плющильный станок.

Принцип работы аппарата заключается в однократном пропускании ядра между парой валков 4. Загрузка производится через загрузочную воронку 1 с помощью распределительного валика 2 по направляющему листу 3. Для очистки вала от налипшей массы применяется нож 5. Степень измельчения материала регулируют величиной зазора между валками.

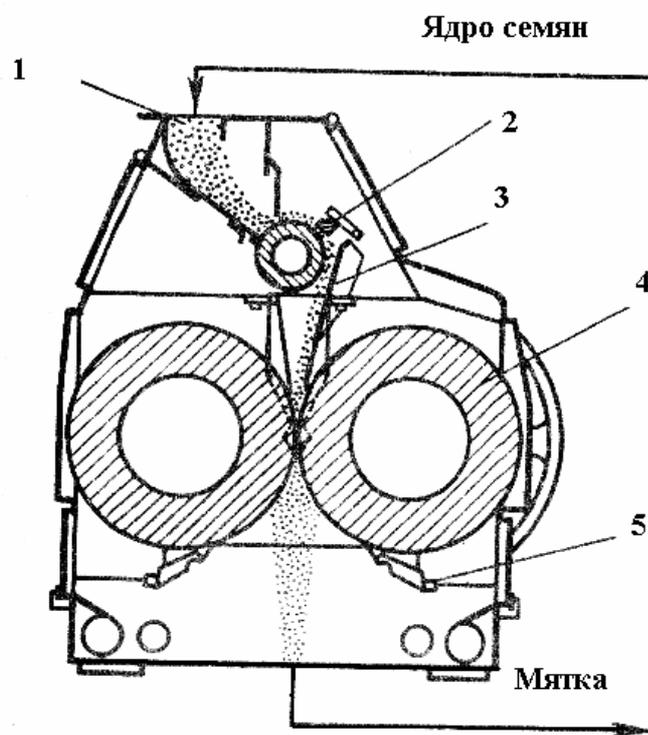


Рис. 19. Однопарный плющильный станок

Режимы измельчения для отдельных культур.

а) Ядро семян подсолнечника.

Используется 5-валковый станок, измельчается за 4 прохода. Оптимальная влажность 5,5...6,0 %; лужистость ядра – 3,0...8,0 %; проход мятки через сито с диаметром 1 мм – н/м 60 %.

б) Семена льна.

Используется 5-валковый станок, измельчается за 4 прохода. Оптимальная влажность – не более 6 %; проход мятки через сито с диаметром 1 мм – н/б 70 %.

в) Семена сои.

На плющильных вальцах получают соевый лепесток. Температура крупки – 60...70 °С; влажность – 8,0...9,5 %; толщина соевого лепестка – 0,25...0,30 мм.

г) Ядро семян клещевины.

Осуществляют грубое плющение на однопарных плющильных вальцах. Оптимальная влажность 7 %.

д) Форпрессовый жмых

Используют дисковые мельницы, однопарные рифленые или 5-валковые станки, ломальные шнеки.

Для жмыхов различных масличных культур режимы измельчения различаются, например, диаметр крупки (мм) для подсолнечника – 3,5, клещевины – 10...12, льна – 5...7.

#### Контрольные вопросы

1. Необходимость отделения оболочки от ядра при переработке масличных семян.
2. Какие механические воздействия необходимо применять для обрушивания семян с различными свойствами?
3. Основные типы машин, используемые для обрушивания семян.
4. По каким показателям оценивается работа обрушивающих машин?
5. Цель операции сепарирования рушанки.
6. Как работают аспирационные вейки?
7. Цель измельчения масличных семян и характер изменений в составе и структуре, происходящих при этом.
8. Теоретические основы процесса измельчения семян и ядер.
9. Какие машины применяют для измельчения масличных семян?

### **4. ПРИГОТОВЛЕНИЕ МЕЗГИ И ИЗВЛЕЧЕНИЕ МАСЛА ПРЕССОВАНИЕМ**

#### 4.1. Приготовление мезги

В мятке после измельчения семян или ядер за счет сильно развитой поверхности масло, даже вытекшее из клеток, прочно удерживается огромными силами межмолекулярного взаимодействия, величина которых намного превышает давление, развиваемое современными прессами, применяемыми для отжима масла.

Для уменьшения сил, связывающих масло с поверхностью частиц мятки, и облегчения процесса извлечения масла применяется влаготепловая обработка мятки – так называемое «жарение».

В результате «жарения» достигаются:

- а) оптимальные условия, обеспечивающие отжим масла;
- б) оптимальная пластичность мезги, необходимая для формирования брикета жмыха;
- в) оптимальные упругие свойства, необходимые для формирования достаточно прочной нерассыпающейся ракушки;
- г) меньшая вязкость масла для лучшего его вытекания;
- д) инактивация ферментной системы мятки.

При этом необходимо соблюдать условия, чтобы сохранить природную ценность масла, а также жмыха и шрота. Условия должны обеспечить наименьшую денатурацию белков и инактивацию ферментов, детоксикацию жмыхов и шротов (для хлопка, сои, клещевины).

В промышленности известны два типа жарения:

1-й тип – «влажное», осуществляют в два этапа. На первом этапе проводят увлажнение и нагревание мятки, затем пропаривание (с целью доведения влажности и температуры до оптимальных). Вторым этапом включает высушивание увлажненной мятки с созданием оптимальной структуры, доведение ее влажности и температуры до оптимальных для прессования и характерных для готовой мезги.

2-й тип – «сухое» жарение, проводится без предварительного нагревания и увлажнения, а представляет собой высушивание и нагревание мятки до определенных значений. Рекомендуется в тех случаях, когда при влажном нагреве происходят нежелательные химические и биохимические процессы (при переработке семян горчицы) или когда исходная влажность сырья существенно выше, чем необходимо для мезги.

Режим жарения характеризуется сочетанием определенных значений влажности и температуры и продолжительностью процесса и зависит от вида масличной культуры, назначения мезги (подготовка к предварительному прессованию, окончательному прессованию, окончательному отжиму или экстракции).

#### *4.1.1. Физико-химическая сущность процессов, протекающих при приготовлении мезги*

*Воздействие воды.* При приготовлении мезги действие воды является основным фактором, от которого зависит полнота последующего отделения масла.

При увлажнении мятки происходят следующие изменения:

- поглощение воды гидрофильными частицами мятки; набухание ее гелевой части, увеличение пластичности;
- ослабление связывания масла в мятке;
- агрегирование частиц друг с другом.

Поглощение воды и набухание мятки является основным процессом. Вода как жидкость высокополярная очень хорошо смачивает гидрофильную поверхность частиц мятки, при этом вытесняет масло с этих поверхностей. Молекулы воды образуют гидратные оболочки вокруг полярных групп мицелл гидрофильных гелей, происходит *набухание* частиц геля. Кроме того, вода проникает в толщу частиц, наблюдается так называемое *объемное набухание*. Дополнительно вода поглощается гелевыми областями. При набуха-

нии участков происходит уменьшение свободных пространств и выдавливание из них масла.

Максимум набухания мятки, например, подсолнечной соответствует 35 % поглощаемой воды, тогда как исходная влажность мятки – 3...12 %.

Скорость поглощения воды частицами мятки зависит от условий увлажнения: от способа ввода воды и интенсивности перемешивания при этом, от маслячности мятки (чем больше маслячность, тем медленнее поглощается вода).

В процессе набухания изменяются физические свойства мятки: от температуры увеличивается пластичность и текучесть гелевой части, возрастает доля пластических деформаций и снижается доля упругих деформаций при механическом воздействии на мятку.

Масло и вода конкурируют в борьбе за поверхность частицы, в результате которой происходит вытеснение масла водой. Масляные капли в процессе вытеснения укрупняются, связь их с гидрофильной гелевой поверхностью частиц ослабляется.

Агрегирование частиц мятки происходит за счет межмолекулярного взаимодействия соседних частиц, причем как за счет гидратных оболочек, так и за счет масляных. При этом уменьшается удельная площадь поверхности мятки, что способствует уменьшению связанности с ней мятки. Так, при увеличении влажности мятки с 3,5 до 10,9 % удельная площадь поверхности подсолнечной мятки уменьшается с 6,25 до 1,5 м<sup>2</sup>/г.

*Воздействие температуры.* При нагревании в пределах применяемых при жарении температур (не выше 110...120 °С), усиливается тепловое движение молекул масла, наблюдается ослабление межмолекулярных сил сцепления. Это приводит к снижению вязкости масла и увеличению его текучести, что способствует более полному его отделению на последующих стадиях.

*Воздействие пара.* Действие пара на мятку складывается из действия его как носителя влаги и как носителя тепла.

При соприкосновении пара с частицами мятки сначала происходит его охлаждение, часть пара конденсируется. Кроме того, на частицу мятки оседает вода, которая увлекается сырым паром в капельно - жидкой форме (пар выступает как носитель влаги), в дальнейшем идет жарение как бы сухим паром (обезвоженным).

При использовании острого пара происходит более равномерное распределение конденсируемой воды, чем при увлажнении непосредственно водой, однако может оказаться недостаточным количество воды в самом паре. Когда мятка достигнет такой температуры, при которой прекращается конденсирование пара, пар начинает сушить мятку, продолжая нагревать ее.

Общий эффект действия пара как носителя влаги и тепла сильнее, чем действие влаги и тепла в отдельности ввиду непрерывного притока равномерно распределяемой воды и быстрого прогрева частиц.

#### 4.1.2. Биохимические изменения в мятке при влаготепловой обработке

Мятка, подвергающаяся жарению, имеет очень сложный ферментный состав, разный для семян различных масличных культур. Она содержит весь набор ферментов, характерный для живого семени.

В процессе жарения при повышении влажности и температуры в первые минуты активность ферментной системы мятки возрастает (примерно до температуры 65 °С). При дальнейшем нагревании при определенных значениях влажности и температуры активность достигает максимума, затем снижается до полной инактивации. Контроль проводят по кислотному числу.

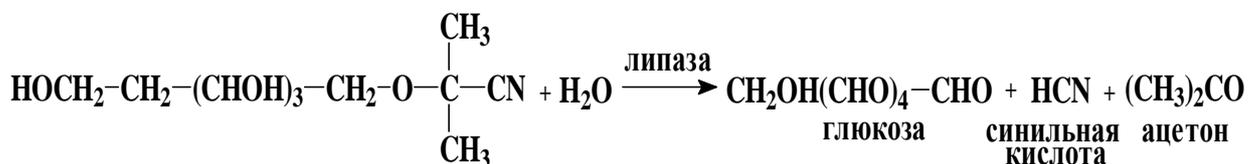
Практически инактивация ферментной системы достигается при нагревании мятки до 80...85 °С в течение короткого промежутка времени 30...40 с с одновременным увлажнением и перемешиванием. Осуществляют ее в пропарочных шнеках (инактиваторах) перед жарением.

Различные масличные культуры имеют характерные для них группы ферментов, белковых, красящих и других веществ, которые по-разному проявляют свои свойства при влаготепловой обработке, поэтому требуют разных режимов при инактивации и жарении.

Для семян *подсолнечника* проводят кратковременное и интенсивное нагревание мятки до 80...85 °С и влажности 8,5...9,0 %. При этом происходит инактивация ферментов группы фосфолипаз и фермента липаза. Получаются высокосортовые масла с очень низким содержанием фосфатидов (до 0,02 %).

Для семян *клещевины* инактивация имеет особенно большое значение, так как они имеют наиболее активную липазу. При нагреве в инактиваторе до 80...90 °С и влажности 8...10 % кислотное число прессовых масел снижается в среднем на 0,6...0,8 мг КОН по сравнению с маслом, полученным при обычном способе жарения.

Для семян *льна*, которые, в отличие от других культур, содержат глюкозид линамарин и сопутствующий ему фермент липаза, возможно образование синильной кислоты (по уравнению) в результате гидролиза линамарина в присутствии влаги при температуре 35...50 °С:



Таким образом, для семян льна инактивация ферментной системы является необходимым процессом.

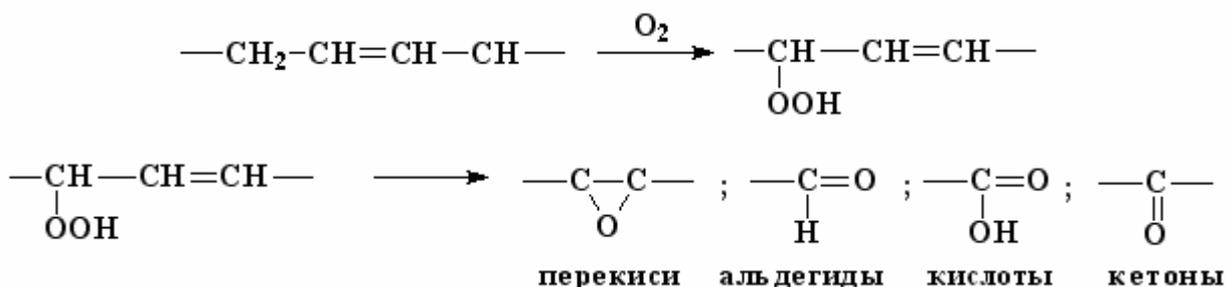
Для семян *горчицы* не проводят увлажнение мятки, так как горчица содержит фермент мирозин, который вызывает расщепление синигрина в присутствии воды с образованием летучего горчичного аллилового масла, в результате качество горчичного порошка снижается.

Не проводят увлажнения мятки также при переработке семян миндаля и многих косточковых, которые содержат большие количества нитрилглюкозида амигдалина, который при достаточном количестве воды гидролитически расщепляется ферментом эмульсином с выделением синильной кислоты и бензальдегида.

Для семян *хлопчатника* характерно содержание красящего вещества – госсипола, присутствие которого накладывает определенный отпечаток на технологические операции по извлечению масла. Под действием тепла, влаги, кислорода воздуха в процессе жарения происходят многочисленные превращения госсипола, что необходимо учитывать при выборе режима жарения.

Под действием высоких температур и повышенной влажности в мятке развиваются также химические процессы. Среди них возможно:

- протекание окислительных процессов в масляных пленках по  $\alpha$ -углеродным атомам, более глубокие химические процессы в масле маловероятны:



- образование при температуре мезги 130...140 °С сопряженных двойных связей линолевой кислоты, что значительно повышает ее активность;
- повышение показателя преломления масла и снижение йодного числа, что свидетельствует о снижении ненасыщенности за счет присоединения по двойным связям различных низкомолекулярных веществ (даже воды);
- изменение гелевой части, которое выражается денатурацией белковых веществ – основных компонентов нежировой части мятки. Наряду с тепловой денатурацией одновременно происходит коагуляция частиц денатурированного белка и возможно выпадение осадка.

Процесс денатурации белковых веществ мятки может протекать только при определенном содержании влаги и возрастает при ее повышении. Осо-

бенно денатурации подвергаются водорастворимые (альбумины) и солерастворимые (глобулины) белки. Если исходить из общего представления о том, что тепловая денатурация представляет собой взаимодействие между белком и водой и происходит только в присутствии воды, то быстрый вывод воды из сферы реакции замедляет денатурацию,

Для предохранения масла от интенсивных окислительных процессов рекомендуется не превышать температуру нагрева мезги выше 105 °С, сокращать продолжительность контакта мезги и масла с кислородом воздуха, применять деаэрированный пар, охлаждать масло до 50...60 °С сразу после его получения.

#### *4.1.3. Основные виды мяток и требования к их свойствам*

В жаровнях обрабатывают мятки двух видов:

- первого рода (обычные), которые получают из семян и ядер. Они представляют сложную смесь обрывков клеточных тканей, содержат целые клетки, и разрушенные с частично или полностью вытекшим маслом, а также кусочки внутриклеточного содержимого;
- второго рода, представляют собой частицы форпрессового жмыха, которые состоят из измененных в процессе предыдущих операций компонентов мяток первого рода. Здесь выше содержание гелевой части, меньше ее влажность, меньше содержание масла.

Для мяток различают внешнюю (общую) и внутреннюю структуру.

*Внешняя структура* – это размер, форма частиц, гранулометрический состав, объем промежутков между частицами, наличие агрегатов.

*Внутренняя структура* – это степень разрушения клеточной структуры для мяток первого рода и степень уплотнения структуры для мяток второго рода, а также наличие новообразований, пористость частиц.

Мятки характеризуются первичной, или истинной, дисперсностью, то есть начальным размером частиц, полученных при измельчении. Для них также характерна вторичная, или кажущаяся, дисперсность, то есть размер агрегатов.

От дисперсности мятки зависит ее однородность. Чем выше дисперсность, тем однороднее мятка. Чем тоньше помол, тем выше склонность к агрегированию, выше слеживаемость. Эти показатели в значительной степени зависят от природы мятки: чем выше масличность культуры, тем выше вторичное агрегирование и слеживаемость. На практике однородность достичь сложно из-за несовершенства измельчающего оборудования и оборудования для жарения.

Однородность мятки должна сочетаться с ее упругопластичными свойствами. Сочетание должно быть таким, чтобы мезга была достаточно упругой, позволяла при прессовании развивать оптимальное давление, и в то же время, чтобы материал не выдавливался через отверстия для стока масла и чтобы формировалась прочная жмыховая ракушка с минимальным содержанием масла. Одновременно мезга должна быть достаточно пластичной, чтобы ракушка сохраняла форму и мезга не выдавливалась через зерновые отверстия пресса.

Упругость и пластичность определяются условиями влаготепловой обработки, зависят от масличности культуры, от содержания в ней белков.

При жарении происходит влаготепловой обмен. Это процесс диффузионный, будет зависеть от толщины слоя, интенсивности перемешивания, от способа передачи тепла. Толщина слоя мятки играет решающую роль. При жарении верхний слой получает больше тепла и способен испарять больше влаги, в нем практически быстрее проходит денатурация белка, образуется корка, малопроницаемая для воды. Во внутренних слоях происходит самопрогревание. Вода, которая движется к поверхности из нижних слоев, увлажняет вышележащие слои. В отсутствие перемешивания все процессы по толщине слоя идут неравномерно, и качество мезги ухудшается.

#### *4.1.4. Технология и техника приготовления мезги*

В производственных условиях приготовление мезги состоит из двух этапов. *Первый этап* – интенсивный кратковременный нагрев мятки до 80...85 °С за 14...16 с и увлажнение ее до 8...9 % (для подсолнечника, льна), что способствует равномерному распределению влаги в мятке и инактивации гидролитических и окислительных ферментов семян, ухудшающих качество масла. Осуществляется в *шнековых инактиваторах* (рис. 20).

Аппарат представляет собой стальной спаренный желоб 2, в котором расположены два шнека 5 и 6. Витки у шнеков частично заходят один в другой (с заходящимися витками), а валы имеют встречное вращение. Мятка перемещается через загрузочный патрубок с помощью шнеков. В верхней крышке 4 инактиватора расположены патрубки для впуска мятки и для удаления избытка водяного пара 1; в нижней части желоба – патрубок для выхода обработанной мятки 8. Аппарат обогревается глухим паром с помощью паровых труб 7, нагрев и увлажнение мятки острым паром осуществляется с помощью двух рядов форсунок 3 (10...40 шт.).

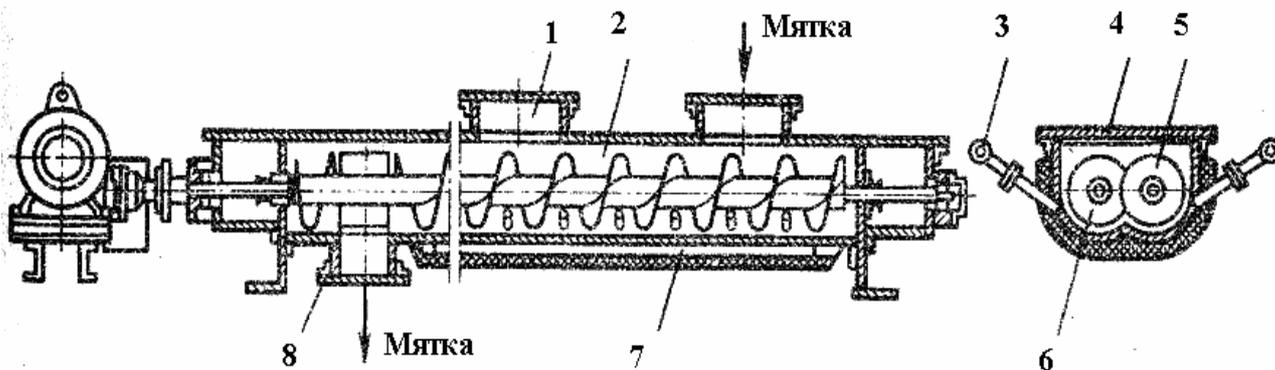


Рис. 20. Шнековый инактиватор

*Второй этап* – нагревание мятки до 105 °С и высушивание ее до конечного содержания влаги (например, 5...6 % для подсолнечника). Осуществляется в жаровнях различных конструкций: чанные, барабанные, шнековые.

Наиболее широко применяются чанные жаровни (рис. 21). Они состоят из 5 или 7 последовательно работающих чанов 1, в днище которых вводится по трубам пар. Чаны укреплены на валу 2, который вращается с невысокой скоростью и на котором закреплены ножи-мешалки 3. Для перепуска мезги из чана в чан имеются перепускные отверстия. Чанные жаровни применяют, как правило, в составе агрегатов вместе с различными шнековыми прессами.

Реже используются шнековые жаровни. Хотя они просты по устройству, надежны и удобны в обслуживании, но не удовлетворяют некоторым требованиям технологии. Барабанные жаровни применяются в основном на хлопчатнике.

#### 4.2. Извлечение масла прессованием

В современных условиях прессование как способ извлечения масла из семян чаще является предоперацией перед окончательным обезжириванием экстракцией. Только в небольших объемах осуществляется чисто прессовое извлечение масла.

Прессовый способ производства растительных масел осуществляется на шнековых прессах различной конструкции. Раньше применяли гидравлические прессы, но они имеют много недостатков: периодичность процесса, использование тяжелого ручного труда при загрузке и выгрузке, большое количество вспомогательных машин, использование пресс-сукна, высокая маслячность прессовых жмыхов (7...8 %). В настоящее время они используются лишь в качестве лабораторного оборудования, а в промышленности во всех схемах применяют шнековые прессы.

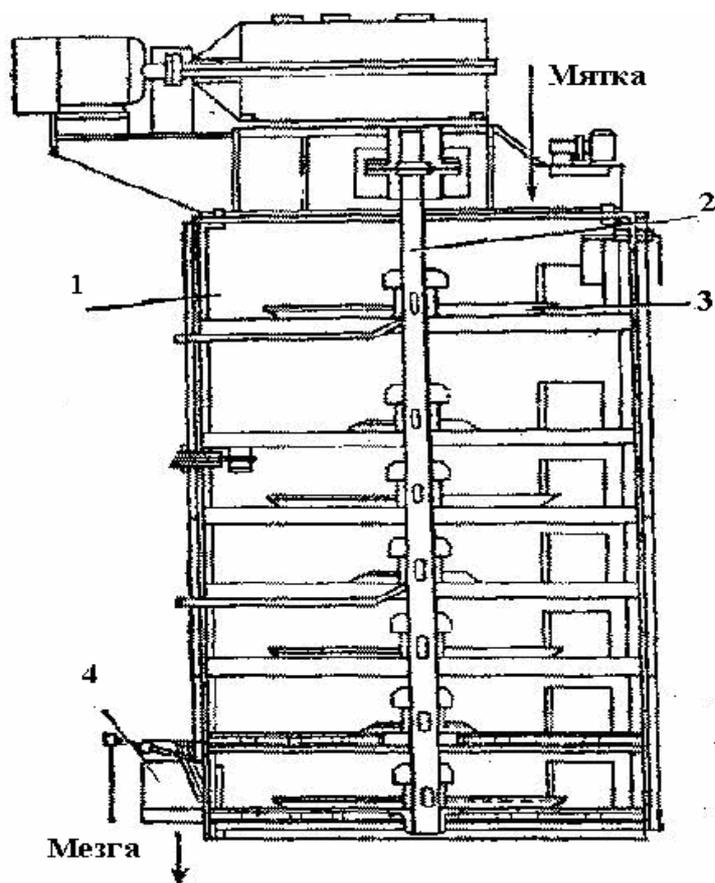


Рис. 21. Чанная жаровня

#### 4.2.1. Упрощенная схема процесса отжима масла (по А.М.Голдовскому)

В ходе прессования физико-механические свойства мезги непрерывно изменяются. Перед прессованием мезга представляет собой рыхлую сыпучую пористую массу (рис. 22), частицы которой покрыты адсорбционным слоем масла, сами частицы разделены воздушными промежутками (рис. 22, а).

В начальный период сжатия мезги при прессовании начинается деформация частиц, их сближение, вытеснение воздуха, уменьшение промежутков. Некоторые промежутки полностью заполнены маслом, которое находилось на поверхности частиц. Начинается выдавливание масла из промежутков между частицами (рис. 22, б).

Основное количество масла отжимается при значительном уплотнении самих частиц за счет их деформации и соединения. При сближении внутренней поверхности происходит выделение масла уже с внутренних поверхностей. При сближении внешних и внутренних поверхностей промежутки значительно уменьшаются и полностью заполняются маслом (рис. 22, в).

При резком уменьшении промежутков, когда на поверхности остаются мономолекулярные слои масла, которые наиболее прочно удерживаются на поверхностях, отжим прекращается, мономолекулярный слой при прессовании не отделяется, остается небольшое количество узких промежутков. Однако эти промежутки тупиковые, масло в них остается как бы закапсулировано (рис. 22, г).

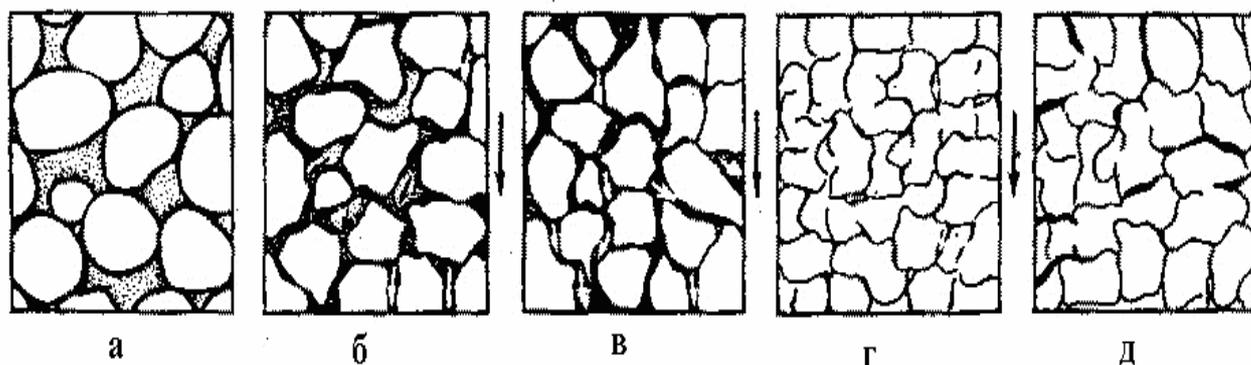


Рис. 22. Схема процесса отжима мезги

После снятия давления получается жмых, объем которого выше, чем в состоянии, представленном на рис. 22, г. Под действием упругих деформаций образуются поры и трещины, поэтому возможно обратное впитывание масла, которое еще не вытекло из пресса (рис. 22, д).

Таким образом, остаточная масличность жмыха складывается из масла мономолекулярного слоя, масла, закапсулированного в тупиковых промежутках, и масла неразрушенных клеток.

#### 4.2.2. Общая схема устройства и принцип работы шнековых прессов

Все шнековые прессы, несмотря на разнообразие, имеют однотипные рабочие органы и общую схему устройства и работы. Основные рабочие органы: разъемный ступенчатый цилиндр и шнековый вал. Стенки цилиндра выполнены из пластин, между которыми имеются узкие щели (зеера) для выхода отпрессованного масла.

Витки шнекового вала 1 (рис. 23) образуют с поверхностью зернового цилиндра 2 свободное пространство в виде *винтового канала*, геометрические особенности которого влияют на процесс переработки материала, в том числе на производительность шнека, давление, отжим.

Винтовой канал формируют:

$D$  – диаметр зерного цилиндра, он может быть постоянным, может изменяться ступенчато;

$t$  – шаг витка, может меняться;

$h$  – глубина канала;

$e$  – ширина гребня;

$\delta$  – зазор между поверхностью цилиндра и кромкой витка;

$\varphi$  – угол подъема винтовой линии;

$L$  – длина шнекового вала.

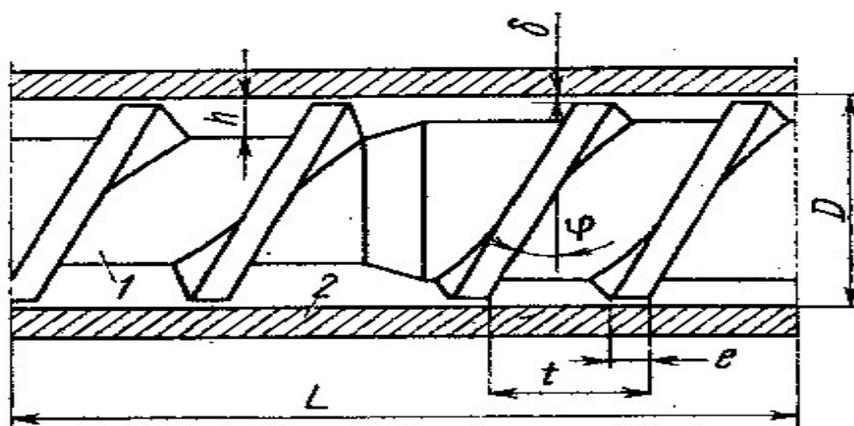


Рис. 23. Схема винтового канала

Нормальная работа шнека обеспечивается оптимальной высотой витков, то есть величиной зазора  $\delta$ . При больших зазорах увеличивается обратный поток материала, при малых зазорах возможен перегрев части материала, проходящей через них. Оптимальным в маслоотжимных прессах считается зазор 1,25...1,50 мм.

По конструктивному признаку различают прессы (рис. 24):

- с постоянным диаметром зерного цилиндра и постоянным диаметром шнекового вала (рис. 24, а);
- постоянным диаметром зерного цилиндра и ступенчато увеличивающимся диаметром шнекового вала (рис. 24, б);
- постоянным диаметром шнекового вала и ступенчато уменьшающимся диаметром зерного цилиндра (рис. 24, в);
- ступенчато изменяющимся диаметром цилиндра (уменьшается) и диаметром вала (увеличивается) одновременно (рис. 24, г).

Мезга через питающее устройство попадает на первый приемный виток вала и при нормальной работе полностью заполняет пространство между первыми двумя витками. Свободным остается винтовой канал, по которому перемещается прессуемый материал.

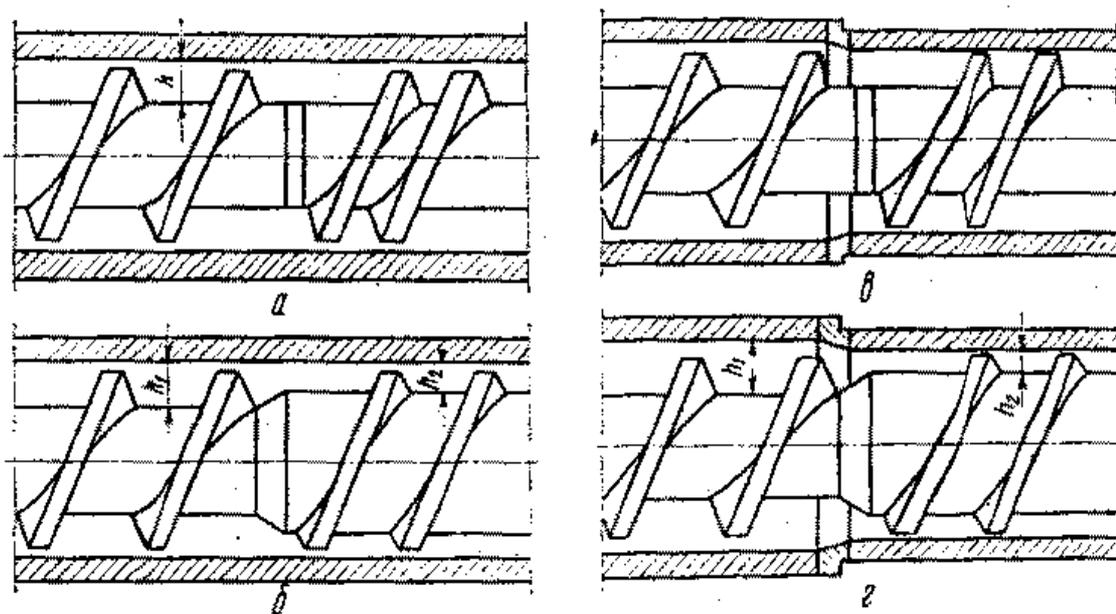


Рис. 24. Конструкции прессов

*Основной принцип* работы шнекового пресса – сжатие мезги при ее движении по зееру, что достигается последовательным уменьшением свободного объема винтового канала по длине шнекового вала.

Поступающая в пресс мезга имеет большое количество пустот между частицами и от 20 до 60 % масла. К концу первого витка происходит уплотнение материала, и в нем остаются только полости с маслом.

Под действием возрастающего давления в зоне второго и последующих витков происходит интенсивный отжим масла. Вплоть до пятого витка на прессе ФП, например, продолжается отжим масла, и прессуемый материал еще имеет рассыпчатую структуру. К шестому витку отжим масла практически завершается, прессуемый материал приобретает упругопластичные свойства. Исследования показали, что основное количество масла (до 98 % от извлеченного) отжимается в первой половине пресса.

В процессе отжима теоретически возможны два крайних варианта движения материала:

- вращательное;
- аксиально-поступательное (как движение гайки по вращающемуся шпинделю).

Вращательное движение возможно, если трение между материалом и витком и между частицами материала больше, чем трение материала о цилиндрическую поверхность зеера. Поэтому необходимо уменьшить величину трения между частицами материала и трения о витки шнекового вала и увеличить трение материала о зеер. Вращательное движение значительно

уменьшается при установке ножей, шлифовке валов, «завершенности» внутренней поверхности зеера.

#### 4.2.3. Факторы, влияющие на полноту извлечения масла и производительность пресса

*Влияние давления.* Движущая сила процесса отжима – развиваемое давление в прессе. Глубина отжима зависит от характера нарастания давления, максимального его значения, продолжительности пребывания материала под давлением.

Давление в прессе определяется свойствами готовой мезги. Для наиболее полного отжима масла необходимо сочетание упругих и пластических свойств мезги.

При прессовании мезги пониженной пластичности (пересушенной) сток масла смещается в сторону выхода из пресса, а прессуемый материал выходит в виде сухой, жесткой высокомасличной муки или крупки. Поэтому наблюдается рост давления.

Мезга с повышенной пластичностью (переувлажненная) не формируется в виде жмыховой ракушки, а выходит в виде бесформенной пластичной массы. Сток масла перемещается в сторону поступления материала. Давление при этом понижается.

Таким образом, пластичные свойства мезги, приобретенные в процессе жарения, являются одним из основных факторов, определяющих величину развиваемого в прессе давления.

*Влияние степени сжатия.* При прессовании происходит уменьшение объема мезги в результате истечения масла, выжимания и вымывания частиц, испарения влаги и уплотнения материала.

Степень сжатия определяется отношением объема мезги, поступившей в пресс, к объему материала, выходящего из пресса. Это *фактическая степень сжатия*. Она колеблется в широком диапазоне 2,81...2,96 на ФП, 3,49...4,41 на экспеллерах. *Теоретическая, или геометрическая степень сжатия*, представляет собой отношение теоретической объемной производительности первого и последнего витков за один полный оборот вала при коэффициенте заполнения, равном единице, отсутствии проворачиваемости материала и его обратного движения. Для ФП теоретическая степень сжатия составляет 14,3. Но она не учитывает механизма продвижения материала через пресс и его физико-механические свойства.

По мере сжатия материала в прессе масло уходит, возрастает доля упругих деформаций и повышается сопротивление давлению.

На зависимость между давлением и степенью сжатия большое влияние оказывает влажность мезги (рис. 25).

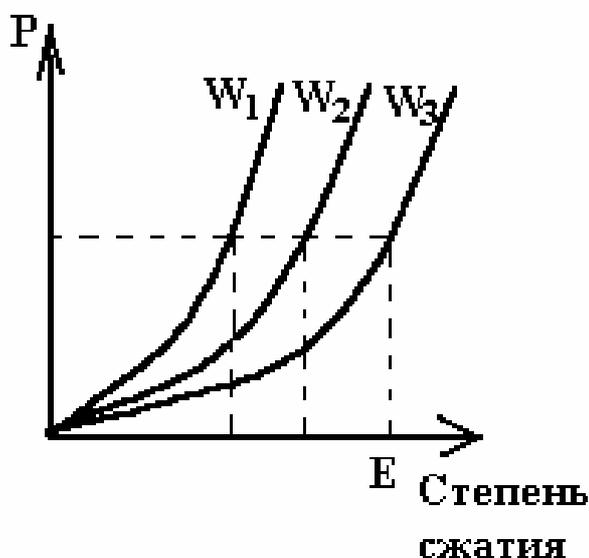


Рис. 25. Зависимость давления от степени сжатия при различной влажности мезги:  $W_3 > W_2 > W_1$  — влажность мезги

При большой влажности материал более пластичный и сжимается в большей степени при одинаковой температуре и давлении.

*Влияние температуры.* Температура процесса оказывает влияние на глубину отжима и качество масла. На холодном прессе максимум отжима масла смещается в сторону выхода из пресса, выход масла уменьшается, плохо формируется жмыховая ракушка. Поэтому перед началом работы пресс разогревают до температуры 70...80 °С. При этой температуре начинается формирование стойкой ракушки жмыха и нормальный сток масла.

При дальнейшей работе пресса, в частности форпресса, нет необходимости в подогреве, так как тепло выделяется при трении мезги о зер и шнековый вал и поддерживается температурой мезги, подаваемой из жаровни с высокой температурой.

В прессах окончательного прессования возможен перегрев материала за счет трения более жестким прессуемым материалом и повышенными температурой и давлением при прессовании. При этом возможно подгорание поверхности жмыха, повышение его остаточной маслячности, повышение цветности отжимаемого масла.

*Влияние продолжительности прессования.* При нормальной работе пресса продолжительность прессования примерно равна времени пребывания материала в прессе. Чем больше продолжительность прессования, тем полнее отжим масла (до известных пределов), но ниже производительность пресса.

Продолжительность прессования, в свою очередь, зависит от геометрии канала, скорости вращения вала, величины выходной щели, характера движения материала через пресс, упругопластических свойств материала и пр.

Примерное время пребывания материала в каждой зоне можно оценить по формуле:

$$\tau = V_{с.з} E_3 / V_{мин} (1-\beta),$$

где  $\tau$  – время пребывания материала в зоне пресса, мин;  $V_{с.з}$  – объем свободного пространства зоны, м<sup>3</sup>;  $E_3$  – степень сжатия мезги в данной зоне;  $V_{мин}$  – объем мезги, поступающий в пресс за одну мин, м<sup>3</sup>/мин;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий потери материала в предыдущей зоне.

#### 4.2.4. Технология и техника прессования

В зависимости от назначения различают два вида шнековых прессов:

- для неглубокого съема масла – *форпрессы*, или прессы предварительного прессования. Они применяются в технологических схемах: форпрессование-экстракция и схеме двукратного прессования для предварительного съема масла. Для них характерны следующие свойства: большие диаметры зернового цилиндра и шнекового вала (220...250 мм); частота вращения шнекового вала 18...26 об/мин, в новых конструкциях – 32...100 об/мин; толщина жмыховой ракушки – н/м 6...7 мм, чаще 8...12 мм; съем масла 60...85 %.
- прессы глубокого съема масла – *экспеллеры*. Они применяются в схемах двукратного прессования для окончательного отжима масла и однократного прессования. Характеризуются меньшим диаметром зернового цилиндра и шнекового вала 130...150 мм; толщина жмыховой ракушки 5...7 мм; частота вращения шнекового вала 4,5...35,6 об/мин.

Основные типы прессов:

*МП-21*. Пресс двойного действия с двумя шнековыми валами: вертикальным и горизонтальным. Обеспечивает глубокий съем масла, называется экспеллер.

*МП и ФП*. Форпресс для предварительного отжима масла. Имеет 4 ступени.

Снизу оборудовано маслосборное устройство, которое состоит из наклонного листа и приемной коробки с сеткой для отделения зерной осыпи.

*ЕП*. Экспеллер, используется на окончательном отжиме из жмыхов. Имеет 4 секции по длине зеера.

Современный шнековый маслопресс РЗ – МОА – 10 входит в состав маслоотжимного агрегата РЗ-МОА. Он состоит из семичанной жаровни и шнекового пресса с питателем. Агрегат автоматически регулирует уровень мезги в верхнем чане жаровни. Жмых выходит из пресса в виде ракушки или гранул.

#### 4.2.5. Типовая технологическая схема переработки масличных семян однократным прессованием

Схема однократного прессования достаточно экономична, применяется для переработки семян хлопчатника, подсолнечника, льна, горчицы, тунга (рис. 26).

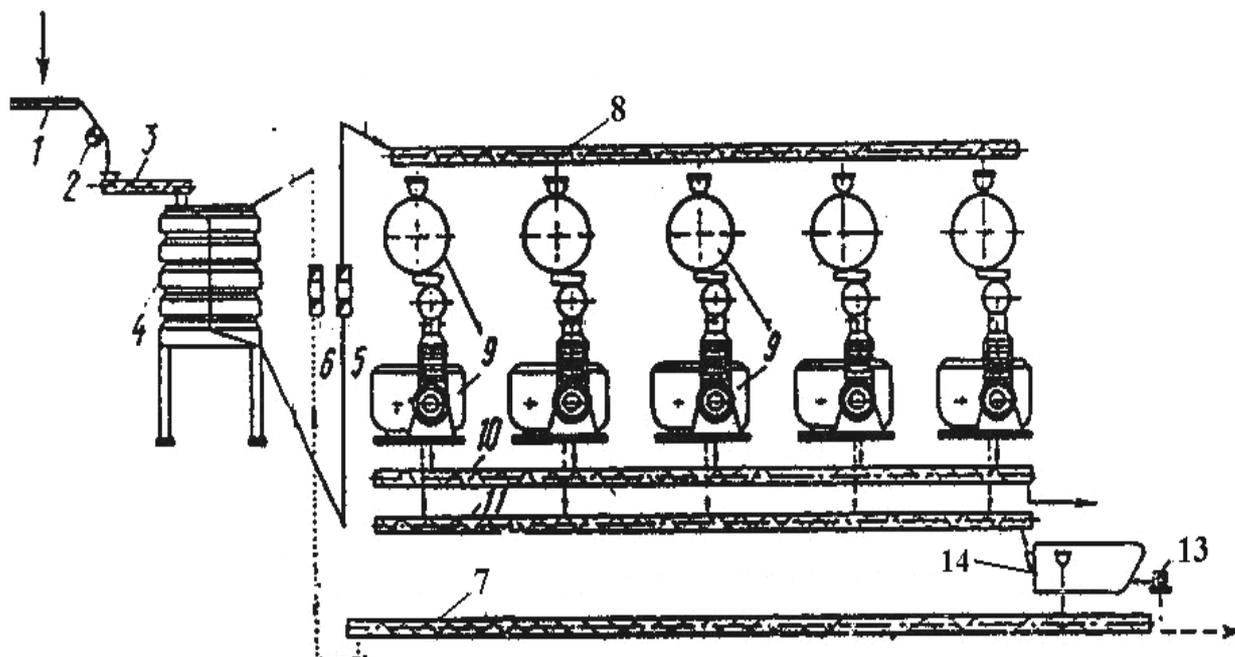


Рис. 26. Типовая технологическая схема однократного прессования

Мятка проходит через сотрясательное сито 1 и электромагнитный сепаратор 2 и поступает в пропарочно-увлажнительный шнек (инактиватор) 3, затем в чанную жаровню 4. Полученная мезга норией 5 попадает в распределительный шнек 8, откуда – в жаровни прессов 9. Отжатое в прессах 9 масло сборным шнеком 11 направляется на первичную очистку в гущеловушку 14, а жмых шнеком 10 – на охлаждение и дробление. Часть масла после очистки подается в холодильник и используется для охлаждения зееров прессов. Гуща после гущеловушки шнеком 7 и норией 6 возвращается в жаровню 4 и далее на повторное прессование.

В этой схеме в основном применяются экспеллеры ЕП и МП-21.

#### 4.2.6. Типовая технологическая схема переработки масличных семян двукратным прессованием

Схема может перерабатывать любое масличное сырье, кроме отходов кориандра (рис. 27).

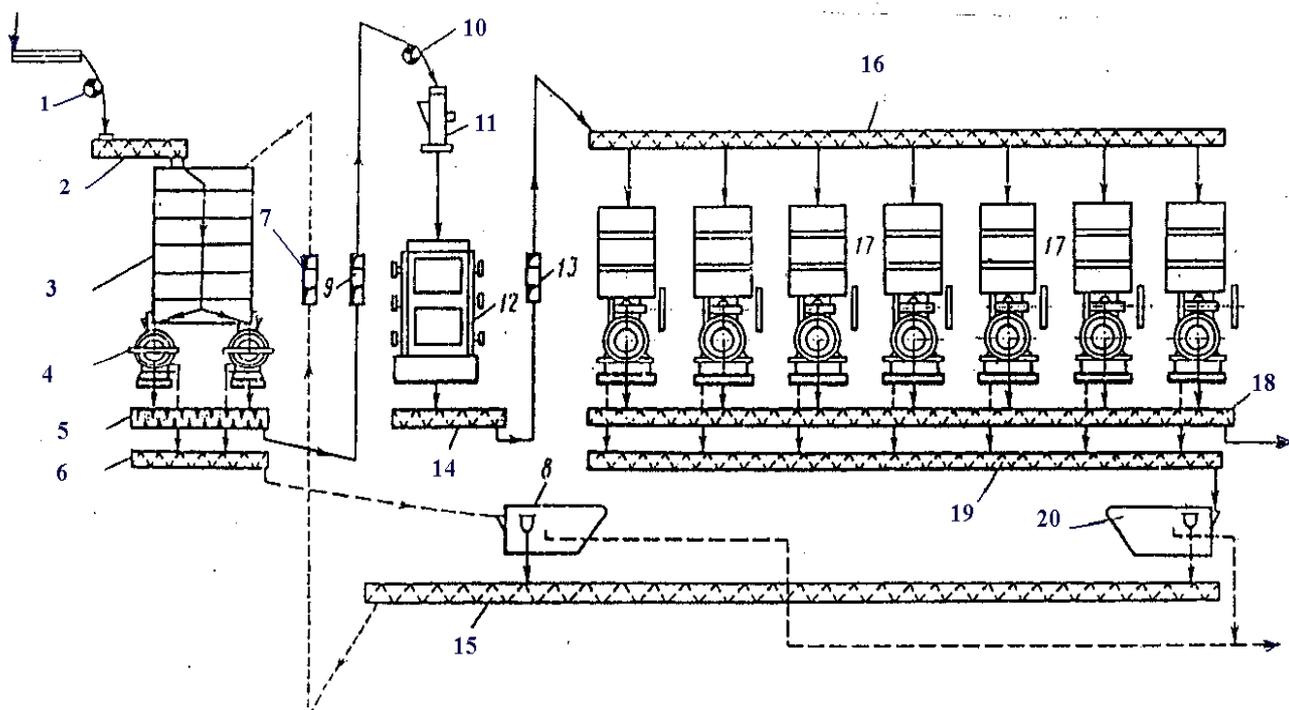


Рис. 27. Типовая технологическая схема двукратного прессования

Мятка, пройдя электромагнитный сепаратор с сотрясательным ситом 1, поступает в инактиватор 2, где нагревается и увлажняется, а затем – в чанную жаровню 3.

Подготовленная мезга поступает в форпрессы 4. Отжатое масло сборным шнеком 6 направляется в механическую гущеловушку 8, затем – на первичную очистку.

Форпрессовый жмых измельчается резакон, который установлен на валу прессы, и в ломальном шнеке 5, затем норией 9 передается в электромагнитный сепаратор 10. Дальнейшее измельчение происходит в дробилке 11 (молотковой или дисковой) и на пятывальцовом станке 12.

Жмыховая мятка шнеком 14, норией 13 и распределительным шнеком 16 подается в жаровню прессов окончательного прессования 17. Экспеллерное масло сборным шнеком 19 направляется в гущеловушку 20, откуда – на первичную очистку. А жмых шнеком 18 подается на дробление, увлажнение, охлаждение, взвешивание и на склад.

Зерная осыпь и шлам шнеком 15 и норией 7 подается в первый чан жаровни 3 для вторичной переработки.

#### Контрольные вопросы

1. Цель операции приготовления мезги в технологии производства растительных масел.
2. Какие физико-химические процессы протекают при приготовлении мезги?
3. Какие биохимические изменения имеют место в мятке при влаготепловой обработке?
4. Какое оборудование используют для получения мезги?
5. Характеристика прессового способа получения масел.
6. Принцип работы шнековых прессов.
7. Какие типовые технологические схемы применяют для получения масел прессованием?

### **5. ПОЛУЧЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ МЕТОДОМ ЭКСТРАКЦИИ**

Прессовым способом невозможно добиться полного обезжиривания мезги. На частичках жмыха, который выходит из пресса, всегда остаются тонкие слои масла, которые удерживаются большими поверхностными силами, во много раз превышающими давление, развиваемое в современных прессах.

После прессов с максимальным съемом масла масличность жмыха остается 4...7 %, а после форпрессов жмых имеет масличность 15...17 %.

Единственным способом, который обеспечивает практически полное извлечение масла, является экстракционный способ.

#### 5.1. Растворители для растительных масел

Для экстракции растительных масел применяются органические растворители, которые должны соответствовать определенным требованиям. Эти требования связаны с достижением наибольшего выхода масла при сохранении биологической ценности продуктов экстракции – масла и шрота.

Желательно, чтобы промышленный растворитель обладал следующими характеристиками:

- хорошо и быстро растворял масло и не растворял других веществ, содержащихся в экстрагируемом материале;
- был бы химически однородным веществом с низкой температурой кипения, низкой теплоемкостью, низкой теплотой парообразования. Это требование, с

одной стороны, определяет экономичность процесса по линии энергозатрат, с другой стороны, гарантирует качество масла со стороны температурного воздействия;

- не изменял своего химического состава и свойств при хранении и в ходе технологического процесса;
- не смешивался с водой и не образовывал с ней азеотропных смесей;
- полностью удалялся из масла и шрота, не придавал им постороннего запаха и вкуса, не образовывал химических веществ, опасных для животных и человека;
- не разрушал бы технологическое оборудование;
- был бы безвредным для здоровья окружающих;
- был бы пожаро- и взрывобезопасным;
- был бы доступным и дешевым для применения в больших промышленных масштабах.

Растворитель, удовлетворяющий всем перечисленным требованиям, можно охарактеризовать как идеальный. Такого растворителя в природе не существует, а используемые в промышленности экстрагенты лишь частично приближаются по свойствам к идеальному растворителю.

## 5.2. Растворимость растительных масел в органических растворителях

При растворимости жидкостей в жидкостях они тем легче смешиваются друг с другом, чем ближе по величине силы взаимодействия молекул в жидкостях. Силу молекулярного взаимодействия приближенно можно охарактеризовать *диэлектрической проницаемостью* ( $\epsilon$ ), которая определяет полярность молекул.

Растительные масла – вещества с небольшой полярностью. Для большинства масел диэлектрическая проницаемость при комнатной температуре равна 3,0...3,2, кроме касторового масла, для которого  $\epsilon=4,6...4,7$ . Этот факт объясняется присутствием большого количества в его триглицеридах остатков рицинолевой кислоты, содержащей полярную гидроксильную группу.

Все растительные масла хорошо растворяются в неполярных гидрофобных растворителях с близкой диэлектрической проницаемостью. К таким растворителям относятся гексан, бензин, бензол, дихлорэтан и некоторые другие.

С ростом разницы значений диэлектрических проницаемостей растворителя и масла их взаимная растворимость ухудшается. Ацетон в этом ряду занимает крайнее положение, его  $\epsilon = 21,5$  (20 °С). Он растворяет масло в любых пропорциях и в то же время смешивается с водой.

Спирты: этиловый, метиловый и изопропиловый ограниченно смешиваются с маслом при комнатной температуре, при нагревании его раствори-

мость повышается. Растворимость масла в спиртах повышается также при увеличении молекулярной массы последних. Это связано с тем, что растворимость жиров в спиртах обусловлена образованием водородных связей гидроксила спиртов с карбоксилем кислот и силами межмолекулярного притяжения между углеводородными радикалами кислот и спиртов.

Растворимость масел в воде ничтожно мала, так как вода является полярной жидкостью (для воды  $\epsilon = 81$ ).

Обращает на себя внимание растворимость воды в растворителях, так как этот факт имеет практическое значение:

- есть определенная опасность нарушения процесса экстракции из-за того, что растворитель мокрый;
- в ходе вспомогательных операций растворитель часто соприкасается с водой, что также может вызвать его потери.

Зависимость между полярностью растворителей и растворимостью в них масла (кроме касторового) и воды представлена в виде схемы (рис.28).

Касторовое масло при комнатной температуре плохо растворяется в бензине, гексане, при нагревании растворимость повышается и может достигнуть полного смешения в любых соотношениях. При комнатной температуре касторовое масло хорошо растворяется в абсолютном этаноле и метаноле.

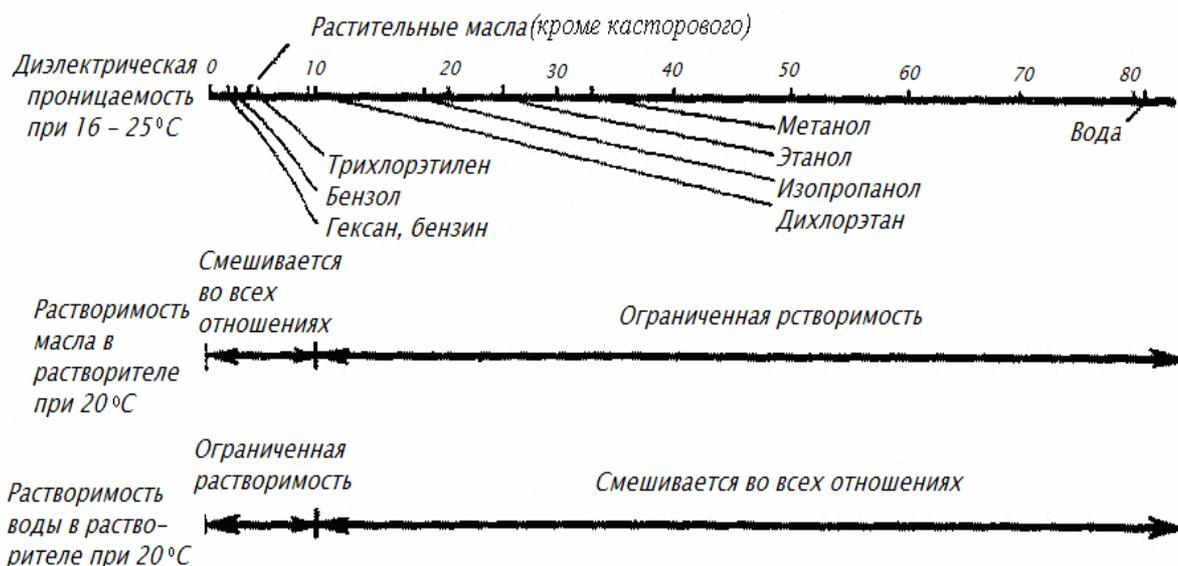


Рис. 28. Растворимость растительных масел и воды в растворителях разной полярности

В целом, можно отметить следующие группы растворителей:

- неполярные непротонные растворители, которые характеризуются низкими значениями диэлектрической постоянной  $\epsilon < 15$  и низким дипольным моментом  $\mu = 0 \dots 2$  дебай. К ним относятся углеводороды и галогенпроизводные углеводородов;
- дипольные непротонные растворители с высокими значениями диэлектрической постоянной  $\epsilon > 15$  и большим дипольным моментом  $\mu > 2,5$  дебай. Это соединения серы и кислорода, нитраты, кетоны, нитроуглероды;
- протонные растворители, которые имеют группы атомов, заряженных отрицательно, и связаны с водородным атомом: вода, алкоголи, карбоновые кислоты, кислотные амиды.

*Природу растворов масел* в органических растворителях можно рассматривать как близкую к молекулярной, т.к. абсолютное большинство свойств, которые проявляют мисцеллы, присуще растворам:

- размеры частиц: несмотря на то, что молекулы триглицеридов имеют большие размеры, они меньше размеров, характерных для коллоидных частиц;
- агрегативная устойчивость: растворы масел в органических растворителях не способны легко изменять агрегативную устойчивость (коагулировать, например, как коллоиды);
- величина коэффициента диффузии: коэффициент молекулярной диффузии важнейших растительных масел в бензине значительно выше, чем коэффициент диффузии для коллоидных растворов.

Единственным свойством, которое можно отнести к показателям коллоидного состояния, является структурная вязкость. Она обнаружена при вискозиметрических исследованиях растворов некоторых масел в бензоле и ацетоне. Эта структура подвижная, легко разрушается, но отражается на физических свойствах растворов, вызывает отклонение от закона Гагена-Пуазейля о прямолинейной зависимости между давлением и скоростью истечения. Причиной структурной вязкости могут быть вещества, перешедшие при экстракции в раствор вместе с жирами, например, фосфатиды. В этом случае раствор становится дисперсионной средой для коллоидных частиц сопутствующих веществ.

Таким образом, растворы масла в органических растворителях по своим свойствам несколько отличаются от идеальных растворов и не могут в точности подчиняться закону Рауля. Отклонения от данного закона зависят от вида растворителя, температуры, от концентрации мисцеллы и других факторов.

### 5.3. Характеристика растворителей, используемых в промышленности

Растворители растительных масел классифицируют:

а) в зависимости от физико-химических свойств:

- по полярности на низкополярные ( $\epsilon$  до 12), среднеполярные ( $\epsilon = 12...50$ ) и высокополярные ( $\epsilon > 50$ );
- величине вязкости на низковязкие ( $\eta < 2 \cdot 10^{-3}$  Па·с), средневязкие ( $\eta = (2...10) \cdot 10^{-3}$  Па·с), высоковязкие ( $\eta > 10 \cdot 10^{-3}$  Па·с);
- температуре кипения – на низкокипящие ( $< 100$  °С), среднекипящие ( $100...150$  °С), высококипящие ( $> 150$  °С);

б) в зависимости от состава:

1 тип – технически чистые растворители;

2 тип – смеси технически чистых растворителей.

Наиболее часто в промышленности используется первый тип – чистые растворители, экстрагенты второго типа используются крайне редко, хотя и представляют определенный интерес, например, водный раствор этанола и водный ацетон используются для селективной экстракции.

Растворители первого типа подразделяются на несколько групп.

*Алифатические углеводороды.* Широко используются в этой группе экстракционные бензины – продукты перегонки нефти. Они представляют собой смеси нормальных парафинов и изопарафинов ряда  $C_nH_{2n+2}$ , циклопарафинов  $C_nH_{2n}$ , сравнительно небольших количеств ароматических углеводородов, незначительных количеств непредельных углеводородов. Например, состав бензина марки А (температура кипения  $63...75$  °С), %:

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| н-Гексан                         | 54,39 |
| н-Гептан                         | 0,23  |
| Бутан                            | 0,13  |
| Изопентан                        | 0,19  |
| 3-Метилпентан                    | 20,02 |
| 2,3 – Метилбутан + 2-метилпентан | 11,59 |
| Метилциклопентан                 | 9,00  |
| Бензол                           | 0,50  |

Основные преимущества бензинов заключаются в следующем: значительная доля низкокипящих предельных углеводородов, небольшое содержание ароматических углеводородов, хорошая растворимость жиров, доступность, не действует разрушающе на аппаратуру, нацело отгоняется из масла и шрота, ничтожно мало растворимы в воде.

Недостатками бензинов являются: неоднородность химического состава (зависит от месторождения нефти); широкий интервал температур кипения; высокий верхний предел выкипания, поэтому возможна частичная дена-

турация белковых примесей, изменение кислотного числа и цветности масла; при многократном использовании фракционный состав бензинов изменяется, так как теряются тяжелые фракции со шротом и маслом; легкая воспламеняемость и образование с воздухом взрывчатых смесей (температура воспламенения 260...270 °С, поэтому необходимо ограничивать температуру теплоносителя); пары бензина тяжелее воздуха в 2,7 раза, скапливаются в низинах, необходима постоянная вентиляция; оказывают токсическое действие на организм человека, воздействует на нервную систему.

Работы по улучшению качества углеводородных растворителей привели к созданию нефтяных растворителей – *нефрасов*. Нефрасы имеют более низкое содержание бензола, непредельных углеводородов и серы, содержат более 50 % нормальных углеводородов, лучше растворяют масла, менее токсичны ввиду низкого содержания ароматических углеводородов.

Нефрасы являются взрыво- и пожароопасными, температура самовоспламенения 248...262 °С, пределы взрываемости в смеси с воздухом 1,15...7,70 об. %, ПДК паров в воздухе рабочей зоны – 100 мг/м<sup>3</sup>, температура начала перегонки – 63...65 °С.

*Хлорпроизводные алифатических углеводородов.* Это – дихлорэтан, четыреххлористый углерод, трихлорэтилен. Они обладают высокой растворяющей способностью и невоспламеняемостью. Однако широкое их использование ограничено ввиду некоторых свойств: большой расход по сравнению с бензинами, так как их плотность значительно превышает плотность бензинов; вызывают коррозию обычных металлов; пары обладают высокой токсичностью, с воздухом образуют взрывоопасные смеси; качество масла при их использовании ниже, чем при экстракции бензином, труднее проходит рафинация, так как эти растворители очень хорошо растворяют красящие и другие неомыляемые вещества.

*Ароматические углеводороды.* Это – бензол, но не химически чистый, а смесь бензола и его гомологов (толуола, ксилола и др.). Растворяющая способность выше, чем бензинов, поэтому в мисцеллу переходит больше сопутствующих веществ и ухудшается цветность масел. Бензол – сильнейший яд, действует на нервную систему и кровь, поэтому в качестве промышленного растворителя не применяется.

*Алифатические кетоны и спирты.* Это – ацетон, этиловый спирт. Ацетон является хорошим растворителем, не вызывает коррозии аппаратуры, имеет низкую температуру кипения (56 °С), рекомендуется использовать для селективной экстракции. Этиловый спирт имеет определенный химический состав, постоянную температуру кипения (78 °С). Плохо растворяет масла до 30 °С (кроме касторового), но хорошо – при более высокой температуре (до 120 °С). При охлаждении до 16...24 °С отслаивается от масла, таким образом можно отделить его после экстракции. Сопутствующие жирам вещества при охлаждении остаются в спирте.

#### 5.4. Хранение растворителей и подготовка их перед экстракцией

Непосредственно в экстрактор должен подаваться растворитель:

- а) не содержащий воды и взвесей;
- б) содержащий не более 0,1 % масла (после регенерации);
- в) нагретый до оптимальной температуры.

Вода в растворителе может привести к обводнению экстрагируемого материала, потере его сыпучести, образованию тестообразной массы, перебросу растворителя из экстрактора, закипанию рабочих частей шнекового испарителя. Осушение (сепарация) растворителя производится в водоосадителе автоматического действия.

После водоосадителя для интенсификации процесса экстракции растворитель нагревают до оптимальной температуры в зависимости от вида растворителя, например, для бензина марки А – до температуры 50...53 °С, марки Б – 55...60 °С. Подогрев производится в горизонтальном трубчатом теплообменнике – бензоподогревателе водяным паром, который подается в межтрубное пространство.

В процессе регенерации после выпаривания из масла и шрота растворитель может захватывать с собой, кроме воды и частиц шрота, также эмульгированный в воде жир. Для дополнительного отстаивания, а также для хранения при цехах используется обратное бензохранилище. Для одной экстракционной линии необходимо иметь не менее трех резервуаров: для приема растворителя из водоотделителя, для отстаивания, для передачи отстаившегося растворителя в производство.

Основное хранилище для растворителя изготавливается в виде подземных стальных резервуаров, вмещающих 40-дневную потребность завода. Условия хранения должны исключать всякую возможность воспламенения, создания взрывоопасных смесей, отравления обслуживающегося персонала.

#### 5.5. Экстракция масла из масличного сырья

Метод экстракции применяется в двух вариантах технологических схем:

- 1 – в схеме прямой экстракции;
- 2 – в схеме экстракции в комбинации с форпрессованием.

Прямую экстракцию можно применять для любого вида масличного сырья, но особенно метод применим для сои и отходов кориандра. При этом экстрагируют мятку, подвергшуюся влаготепловой обработке и пропущенную через вальцовые станки для формования пластинок-лепестков (сырой лепесток).

По схеме форпрессование - экстракция перерабатывают основное масличное сырье, кроме сои и отходов кориандра. Для этого на первом этапе

прессования извлекают 80...85 % масла, что облегчает проведение второго этапа – экстракцию. Форпрессовый жмых измельчают до крупки, затем также проводят лепесткование за исключением хлопчатника, так как его жмыховая крупка лепесткованию не поддается.

В последнее время разработан способ получения форпрессового жмыха в виде гранул, которые направляются на экстракцию.

В зависимости от подготовки материала к экстракции состояние масла в нем будет различным. Различают два состояния:

а) *свободное масло*, которое находится на внешних и внутренних поверхностях, но удерживается поверхностными силами. Оно присутствует в мятке и сыром лепестке. Для его растворения достаточно обеспечить свободный доступ растворителя;

б) *связанное масло*, которое находится в частично деформированных и не разрушенных клетках и закапсулировано во вторичных структурах. Такое масло встречается, в основном, в форпрессовом жмыхе. Извлекается с трудом. Для его извлечения необходимо два диффузионных потока: один – проникновение растворителя через стенки внутрь клетки и вторичные структуры и второй – растворенного масла в обратном направлении.

### 5.5.1. Теоретические основы процесса экстракции

Экстракция растительных масел – типичный диффузионный процесс, осуществляется путем диффузии двух видов: молекулярной и конвективной.

*Молекулярной диффузией* называется перенос вещества в виде отдельных его молекул. Так как полярности молекулы масла и растворителя близки, интенсивности межмолекулярных сил взаимодействия также близки друг к другу. При соприкосновении этих жидкостей поверхность раздела фаз исчезает, и жидкости начинают смешиваться. Чем выше температура, тем больше кинетическая энергия молекул и тем интенсивнее процесс диффузии. Поскольку система стремится к термодинамическому равновесию, происходит выравнивание концентраций: молекулы переходят из областей с большей концентрацией в область с меньшей концентрацией, что и является сущностью молекулярной диффузии.

Процесс молекулярной диффузии описывается первым законом Фика, который в дифференциальной форме можно представить:

$$dM = - D \frac{dF}{d\tau} \frac{dC}{dX},$$

в интегральной форме:

$$M = - D F \tau \frac{dC}{dX},$$

то есть масса вещества  $dM$ , продиффундировавшего за время  $dt$  через элементарную поверхность  $dF$ , пропорциональна среднему градиенту концентрации  $dC / dX$  этого вещества. В этих уравнениях:

$D$  – коэффициент молекулярной диффузии;

$dC$  – разность концентраций;

$dX$  – путь диффундирования,

знак «-» обозначает, что перенос вещества протекает в направлении падения концентрации распределяемого компонента.

Коэффициент диффузии  $D$  показывает, какая масса масла диффундирует в единицу времени через единицу поверхности при градиенте концентраций, равном 1. Характеризует способность данного вещества проникать в ту или иную среду при данной температуре. А способность проникать зависит от размера молекул, вязкости среды и температуры.

*Конвективная диффузия* – перенос вещества в виде отдельных небольших объемов его раствора. Уравнение конвективной диффузии:

$$dS = - \beta F dC / dt,$$

где  $\beta$  – коэффициент конвективной диффузии.

Коэффициенты конвективной и молекулярной диффузии различаются. Их сравнительная характеристика представлена в табл. 4.

Таблица 4

Характеристика коэффициентов диффузии

| $D$   | $\beta$  |
|---|--|
| 1. Отражает интенсивность теплового движения молекул  | 1. Отражает интенсивность действия гидродинамических факторов (величина, количество объемов) |
| 2. Перенос вещества – за счет кинетической энергии теплового движения                         | 2. За счет энергии, вносимой извне (например, насосом, который подает мисцеллу)              |
| Большое влияние оказывает разность концентраций $dC$ на скорость того и другого вида диффузии |  |

*Экстракция масла растворителем из отдельной частицы материала* (рис. 29). Вытеснив воздух из промежутков между частицами, растворитель смачивает внешнюю поверхность частицы, растворяет на ней свободное масло, затем вытесняет воздух из пор, проникает по порам внутрь частицы и растворяет масло внутри.

Растворенное масло движется изнутри частицы к поверхности. На поверхности частицы образуется пограничный слой движущейся жидкости за

счет ориентации и связывания молекул масла молекулярным силовым полем частицы. В этом пограничном диффузионном слое подвижность молекул масла значительно снижается. От внешней поверхности пограничного слоя масло переносится в общий поток мисцеллы.

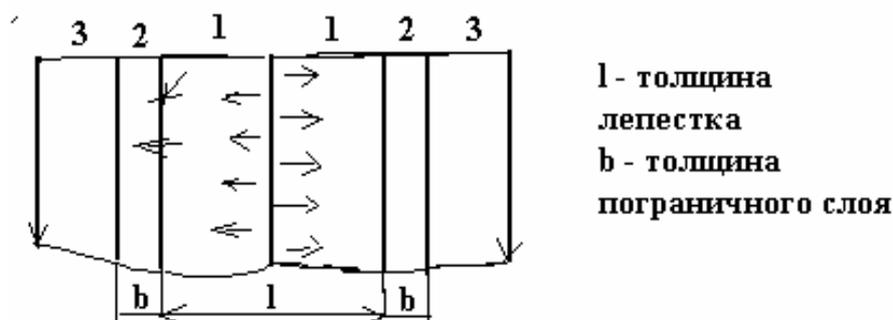


Рис. 29. Схема процесса экстракции масла из лепестка:

1,2 – этапы молекулярной диффузии; 3 – этап конвективной диффузии

По характеру диффузионного пути процесс экстракции масла делится на три этапа:

*1 этап:* молекулярная диффузия масла изнутри частицы материала к ее наружной поверхности. Характеризуется коэффициентом молекулярной диффузии масла изнутри –  $D_v$ . Сопротивление диффузии на первом этапе определяется выражением  $R_1 = 1 / (5,88 D_v)$ . Оно характеризует влияние внутренней структуры частиц (через  $D_v$ ) и внешней структуры (через толщину лепестка  $l$ ) на процесс экстракции.

Скорость диффузии масла изнутри частицы в основном определяется ее внутренней структурой. Численное значение коэффициента характеризует степень вскрытия клеток, пористость материала и др. Для идеальной внутренней структуры  $D = D_v$ . Наиболее приближен к идеальной внутренней структуре экспеллерный жмых.

Оптимальную внутреннюю структуру имеет лепесток толщиной 0,55 мм, удельная площадь его поверхности составляет 43,4 см<sup>2</sup>/г. Если уменьшить толщину  $l$ , то диффузионное сопротивление должно уменьшиться. Однако с увеличением количества вскрытых клеток наблюдается сжатие, замыкание пор веществом лепестка, внутренняя структура ухудшается, снижается коэффициент внутренней диффузии, возрастает сопротивление диффузии.

*2 этап:* молекулярная диффузия через пограничный слой. Характеризуется коэффициентом молекулярной диффузии в пограничном слое, зависит от него и от толщины пограничного слоя  $b$ . Сопротивление диффузии на данном этапе определяется выражением  $R_2 = b / D$ . Толщина слоя  $b$  зависит от физи-

ко-химических свойств поверхности, степени ее шероховатости, режима движения мисцеллы.

В целом сопротивление пограничного слоя  $R_2$  зависит от физических свойств растворителя и масла, температуры, скорости и режима движения мисцеллы.

*3 этап:* конвективная диффузия масла от пограничного слоя в движущуюся мисцеллу. Характеризуется коэффициентом конвективной диффузии. Доля молекулярной диффузии на этом этапе очень незначительна, в основном протекает конвективная диффузия. Ее скорость зависит от гидродинамических условий движения потока мисцеллы, при переходе от ламинарного к турбулентному - скорость резко возрастает.

Диффузионное сопротивление  $R_3$  отражает влияние гидродинамических условий, то есть зависит от скорости и режима движения мисцеллы, ее физических свойств и температуры.

Для процесса экстракции в целом вводится коэффициент массопереноса  $K$  – это количество масла, переносимое через единицу поверхности в единицу времени при разности концентраций, равной единице.

В случае экстракции лепестка:

$$K = 1 / (R_1 + R_2 + R_3).$$

Лимитирующей стадией процесса будет диффузионный перенос масла изнутри твердой частицы, поэтому коэффициент массопереноса, характеризующий процесс экстракции в целом, будет определяться:

$$K = 1 / R_1 = 5,88 D_b / l.$$

*Экстракция масла из частиц в их совокупности.* В реальных условиях экстракция масла осуществляется из предварительно подготовленного масляного сырья, которое представляет собой совокупность частиц разной формы и различного размера. В этом случае процесс экстракции будет зависеть от перемешивания экстрагируемого материала. Экстракция из массы материала может проводиться в неподвижном частично перемешиваемом слое, перемешиваемом слое или во взвешенном состоянии.

В частично перемешиваемом слое возможно слеживание частиц, блокирование их поверхности другими частицами. При сжимании частиц проницаемость слоя для растворителя ухудшается. Очень мелкие частицы уносятся растворителем, могут скапливаться в отдельных местах и увеличивать гидравлическое сопротивление. Такие участки хуже обрабатываются растворителем.

В перемешиваемом слое процесс экстракции зависит от степени перемешивания.

При экстракции во взвешенном состоянии поверхность частиц открытая, они не блокируют друг друга, и общая продолжительность процесса уменьшается.

### 5.5.2. Влияние различных факторов на процесс экстракции

*Влияние влажности материала.* Влажность влияет на смачивание материала растворителем и на диффузию масла изнутри частиц.

Повышенная влажность ухудшает смачивание поверхностей как внутренних, так и внешних; приводит к набуханию частиц, поэтому уменьшается пористость. Это приводит к значительной слеживаемости материала.

При низкой влажности во время подготовки жмыховой крупки или лепестка образуется большое количество мелочи, повышается отстой в мисцелле.

Следовательно, необходима оптимальная влажность материала, которая зависит от вида масличного сырья и от способа экстракции. Например, для форпрессового лепестка в случае его переработки на линии НД-1250 влажность должна составлять 8,0...9,0 %, а на линии МЭЗ – 7,0...8,5 %. При переработке хлопчатника на одной и той же линии сырье 1-3-го сорта экстрагируют с влажностью 6,0...7,0 %, а 4-го сорта – с влажностью 4,0...5,5 %.

*Влияние степени разрушения клеточной структуры.* При изучении кинетики экстракции обнаружено, что процесс делится на два периода (рис. 30):

первый период – извлечение свободного масла, длится менее 10 мин;

второй период – извлечение связанного масла. Между этими двумя периодами – переходная зона (п).

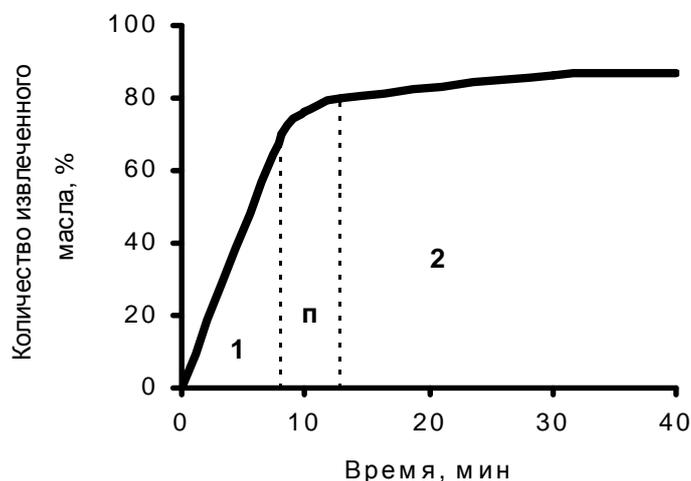


Рис. 30. Кинетическая кривая процесса экстракции

*Влияние температуры процесса.* Температура значительно влияет на полноту и скорость экстракции. При повышении температуры усиливается тепловое движение молекул, снижается вязкость растворителя и масла, повышается скорость диффузии.

Температура процесса определяется из фракционного состава чистого растворителя.

*Влияние объема растворителя и разности концентраций.* Разность концентраций – это движущая сила диффузии, поэтому, чем выше градиент концентраций, тем быстрее происходит экстракция. В оптимальном случае – это разность концентраций масла в исходном материале и нуль в чистом растворителе, то есть масличность.

На практике обезжиривание производят мисцеллами убывающих концентраций: сначала концентрированной мисцеллой, а в конце – чистым растворителем. Этот противоток позволяет поддерживать градиент концентраций примерно на постоянном уровне и существенно снизить количество растворителя.

Чем больше растворителя подается в единицу времени, тем больше разность концентраций. Однако количество растворителя ограничивается до определенного предела, чтобы не снижать концентрации конечных мисцелл.

Скорость движения растворителя тоже важный фактор: она должна поддерживать высокую разность концентраций, наименьшую толщину диффузионного слоя.

Определенное соотношение растворителя и материала называют гидромодулем. Он определяет расход растворителя и зависит от способа экстракции:

- для способа погружения (0,6...1,0) : 1,0
- метода орошения (0,3...0,6) : 1,0.

За счет того, что один и тот же объем растворителя используется несколько раз, гидромодуль на отдельных стадиях достигает значения до (6...8) : 1,0.

Таким образом, теоретические условия экстракции сводятся к следующему:

- наименьшая влажность экстрагируемого материала;
- наименьший размер частиц экстрагируемого материала;
- наибольшее разрушение клеточной структуры;
- наименьшая толщина слоя экстрагируемого материала;
- наибольшая скорость движения растворителя;
- наибольшая температура растворителя.

### 5.5.3. Подготовка материала к экстракции

Целью операции является создание оптимальной внешней и внутренней структуры и уменьшение энергии связывания масла с материалом для ускорения последующей экстракции и наиболее полного извлечения масла.

Для большинства экстракционных линий и масличных культур такими структурами являются:

- сырой лепесток;
- крупка из форпрессового жмыха;
- форпрессовой лепесток;
- гранулы после прессов-грануляторов.

Эффективная экстракция масла невозможна без тщательной подготовки экстракционного материала. Для схемы прямой экстракции и схемы форпрессование – экстракция набор подготовительных операций будет несколько отличаться, так как исходный материал для экстракции будет различным.

При переработке форпрессового жмыха подготовительные операции включают в себя: измельчение жмыха; влаготепловую обработку; плющение (лепесткование).

Типовая технологическая схема подготовки форпрессового жмыха к экстракции представлена на рис. 31.

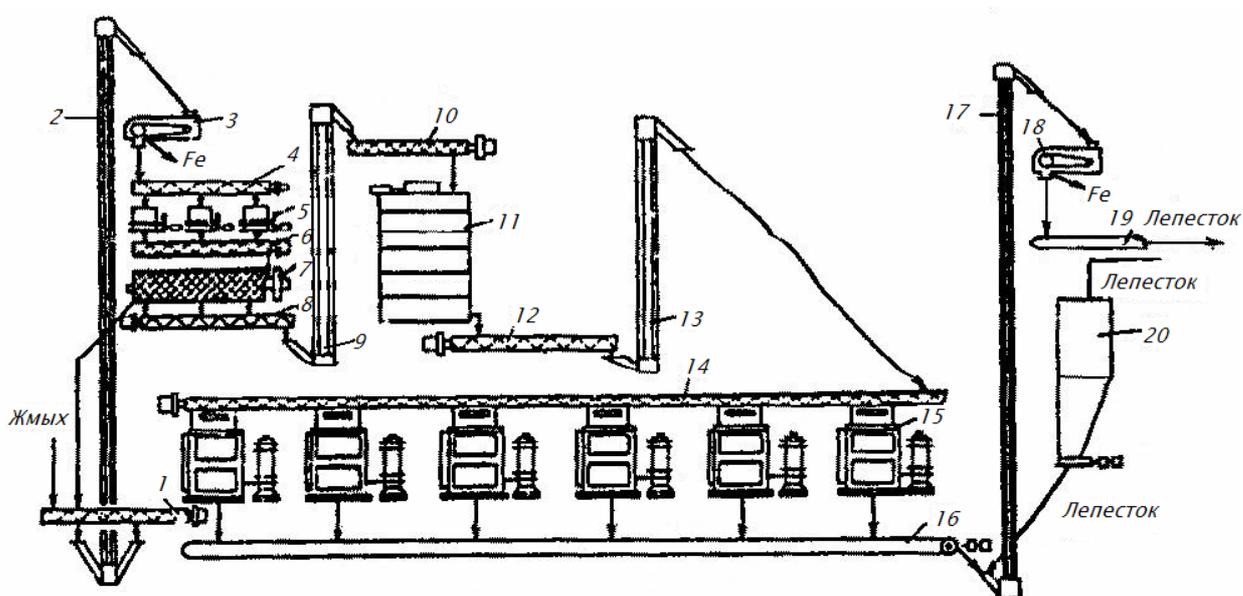


Рис. 31. Типовая технологическая схема подготовки форпрессового жмыха

Жмых после форпрессования шнеком 1 и норией 2 подается на электромагнитный сепаратор 3, где освобождается от ферропримесей. Затем шнеком 4 распределяется на дисковые дробилки 5. Полученная крупка по шнеку 6 поступает на сортировочный грохот 7 для отбора крупных фракций (более 6-8 мм), которые возвращаются на повторное дробление. Мелкие фракции собираются шнеком 8 и норией 9 и шнеком 10 подаются на кондиционирование. Эта операция осуществляется в шестичанных кондиционерах

11. По необходимости увлажнение можно производить непосредственно в шнеке 10. Из жаровен шнеком 12, норией 13 и шнеком 14 крупка подается на двухпарные плющильные станки 15 для формирования лепестка. Полученный лепесток редлером 16, тихоходной норией 17 через электромагнитный сепаратор 18, вторым редлером 19 транспортируется в экстракционный цех. Излишки лепестка по отводной трубе поступают в запасной бункер 20, откуда тихоходной норией 17 подаются в редлер 19.

Кондиционирование осуществляется в чанных жаровнях, причем любых – трех-, пяти-, шестичанных, которые имеют тихоходные мешалки, т.к. меньше измельчают крупку при перемещении из чана в чан. Если необходимо кондиционировать только по температуре, то используют охладители: шестичанный кондиционер, в качестве которого может выступать жаровня с тихоходной мешалкой, охлаждающая вода подается только в днище; применяется также охладитель ДГ шахтного типа, а также охлаждение атмосферным воздухом в холодное время года.

При переработке масличных семян методом прямой экстракции для кондиционирования по температуре и влажности и одновременного получения пористых гранул применяются агломераты.

По данной схеме можно подготавливать к экстракции жмых любого масличного материала. Схема универсальна, при необходимости может быть упрощена. Если экстракцию проводят не из лепестка, а из крупки или гранул, то материал минует плющильные станки и после жаровен сразу подается на экстракцию.

Семена сои экстрагируют по схеме прямой экстракции сырой мятки (лепестка). Это связано с рядом факторов, так как соя относится к весьма ценному виду масличного сырья. Ее отличают:

- высококачественное пищевое масло (80-85 % ненасыщенных кислот, самая высокая биологическая ценность);
- высокое содержание ценнейшего растительного белка (36-50 %), содержащего все незаменимые аминокислоты, которые не синтезируются организмом человека. Водорастворимая фракция белков сои составляет 80-90 %, они легко усваиваются организмом;
- большое количество фосфатидов, которые переходят в масло при его производстве (до 4,0 %) и из которого производят фосфатидный концентрат.

Таким образом, высокой питательной ценностью обладает не только масло сои, но и ее шрот. Чтобы сохранить питательную ценность и масла и шрота при переработке, необходимо экстракцию проводить в мягких условиях, особенно по температуре, исключая денатурацию белков, разрушение витаминов. Поэтому прямая экстракция сырого лепестка является наиболее целесообразной схемой получения соевого масла и пищевого шрота. Из пищевого шрота в дальнейшем вырабатывают соевую муку.

Последовательность подготовительных операций соевых семян следующая:

- очистка от ферромагнитных примесей дважды через промежуточное хранение;
- очистка от крупных минеральных примесей на камнеотборнике;
- кратковременная влаготепловая обработка семян до влажности 14 % и температуры 60-70 °С;
- сушка семян нагретым воздухом на ротационной сушилке;
- очистка от поверхностных загрязнений на зернообоечных машинах, одновременно частичное отделение от оболочки, муки и зародыша;
- разделение на сепараторе: мука, оболочка, зародыш – в линию кормового шрота;
- дробление на однопарных рифленых вальцовых станках;
- разделение на сепараторе на недоруш, оболочку, ядро, муку, зародыш. Оболочка, мука, зародыш – в линию кормового шрота;
- инаktivация дробленого ядра в шнеке-инаktivаторе до 80...90 °С и влажности до 15 %;
- кондиционирование в чанных жаровнях  $t = 60...70$  °С, влажность 8,0...9,5%;
- электромагнитное сепарирование;
- плющение на двухпарных плющильных вальцовых станках;
- готовый лепесток на экстракцию.

Температура материала, поступающего на экстракцию, должна быть на 5 °С ниже температуры кипения растворителя и не должна превышать 50 °С при обезжиривании бензином марки А или нефрасом. При необходимости материал охлаждают.

Способ прямой экстракции постепенно внедряется и на другие масличные культуры, особенно целесообразно его внедрить на высокомасличных сортах, чтобы получить и масло, и шрот с высокой питательной ценностью. Однако существующие экстракторы не пригодны для извлечения масла из сырой мятки высокомасличных культур, т.к. она очень слеживается.

#### 5.5.4. Основные методы и способы экстракции

До настоящего времени в производственных условиях существует два принципиально различных способа экстракции: *метод настаивания* и *метод последовательного обезжиривания*.

По первому методу материал загружается в экстрактор и заливается порцией растворителя. Через определенный промежуток времени растворитель путем непосредственного растворения, а также за счет диффузии извлекает определенные количества масла. Полученная мисцелла сливается из экстрактора, и в него вновь загружается новая порция растворителя. И так несколько раз до полного извлечения масла. Недостатки метода заключаются в следующем: очень высокий расход растворителя, получение больших количеств мисцеллы, низкая концентрация мисцеллы. Экстракция настаиванием – устаревший метод, но еще применяется в отдельных случаях при экстрагировании небольших количеств жиров.

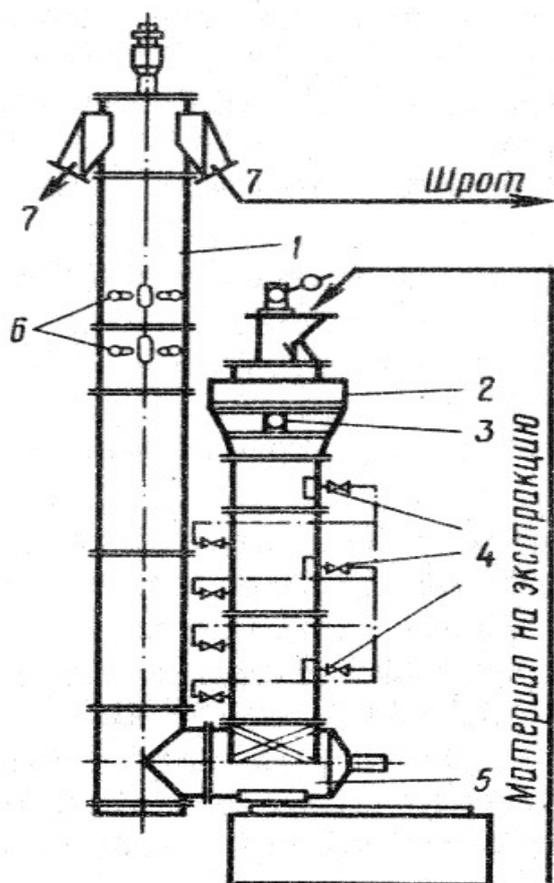
По второму методу экстракция осуществляется по принципу противотока. На свежий экстрагируемый материал действуют концентрированной мисцеллой, а на предельно обезжиренный материал – чистым растворителем, т.е. навстречу потоку экстрагируемого материала движется растворитель. При данном методе расход растворителя значительно уменьшается, сокращается время процесса экстракции, мисцелла получается сравнительно высокой концентрации.

Метод наиболее распространен в промышленности и встречается в двух вариантах:

- экстракция погружением: экстрагируемый материал погружается в противоточно движущийся растворитель. Создаются условия абсолютного противотока: и растворитель и экстрагируемый материал непрерывно передвигаются относительно друг друга. Метод имеет целый ряд преимуществ – высокая скорость экстракции, простота конструкции экстрактора, высокий коэффициент использования геометрического объема (до 98 %), исключена возможность образования в аппаратах взрывоопасных смесей воздуха и растворителя. Недостатки: сравнительно низкая концентрация конечных мисцелл (15...20 %), высокое содержание в них примесей, значительные габариты экстракторов по высоте;

- экстракция ступенчатым орошением: непрерывно перемещается только растворитель, а экстрагируемый материал остается в покое в одной и той же перемещающейся емкости или на движущейся ленте. Мисцеллы получают повышенной концентрации 35...40 %, они чистые, т.к. фильтруются через слой экстрагируемого материала. Недостатки: большая длительность экстракции, невысокий коэффициент использования геометрического объема (н/б 45 %) аппарата, возможность образования взрывоопасной смеси паров растворителя и воздуха внутри аппарата.

По способу погружения работает вертикальный шнековый экстрактор НД – 1250 (рис. 32).



- 1 – экстракционная колонна;
- 2 – загрузочная колонна с декантатором;
- 3 – патрубок для схода мисцеллы;
- 4 – размывочная система;
- 5 – передаточный шнек;
- 6 – форсунки для ввода растворителя;
- 7 – патрубок для выхода шрота

Рис. 32. Шнековый экстрактор

Конструкция аппарата состоит из экстракционной колонны 1, загрузочной колонны с декантатором 2 и горизонтального шнека 5. Внутри колонн установлены рабочие шнеки, поверхность винтов которых перфорирована, чтобы быть проницаемой для растворителя. Диаметры отверстий в витках шнеков: 10 мм в экстракционной колонне и горизонтальном шнеке и 8 мм в загрузочной колонне.

Экстракционный материал загружается в верхнюю коническую часть колонны 2 и с помощью распределительного зонта образует фильтрующий слой. Шнек колонны 2 направляет материал вниз к передаточному шнеку 5, который обеспечивает продвижение материала к вертикальному шнеку колонны 1. С помощью вертикального шнека колонны экстракционный материал поднимается вверх до выгрузных отверстий и сбрасывателем 7 выводится из экстрактора. В загрузочной колонне предусмотрена установка форсунок для гидроразмыва запрессовок экстрагируемого материала растворителем, подаваемым внутрь колонны под избыточным давлением.

Чистый растворитель подается в экстракционную колонну 1 через форсунки 6 противотоком навстречу материалу. По закону сообщающихся сосу-

дов растворитель заполняет колонну 2, двигаясь в ней снизу вверх. По всей экстракционной трассе растворитель извлекает масло из экстракционного материала. Образующаяся мисцелла в верхней части колонны 2 (декантаторе) фильтруется через слой поступающего на экстракцию материала, частично отстаивается и выводится через патрубки 3 (их 3 штуки). В днище экстракционной колонны расположен донный фильтр-цеделка для аварийного слива мисцеллы из экстрактора.

По способу погружения работают также башенные экстракторы, например, фирмы «Олье» (Франция), предназначенные для экстракции масла из жмыха двукратного прессования в виде крупки.

По способу ступенчатого многократного орошения экстрагируемого материала растворителем работает ленточный экстрактор МЭЗ (рис. 33).

Экстрактор непрерывного действия, в котором экстрагируемый материал неподвижно находится на ленте транспортера. Невысокий коэффициент использования объема экстрактора ( $\approx 25\%$ ), а также большая длительность экстракции, сложная система прокачки растворителя, значительное количество насосов характеризуют основные недостатки данного аппарата.

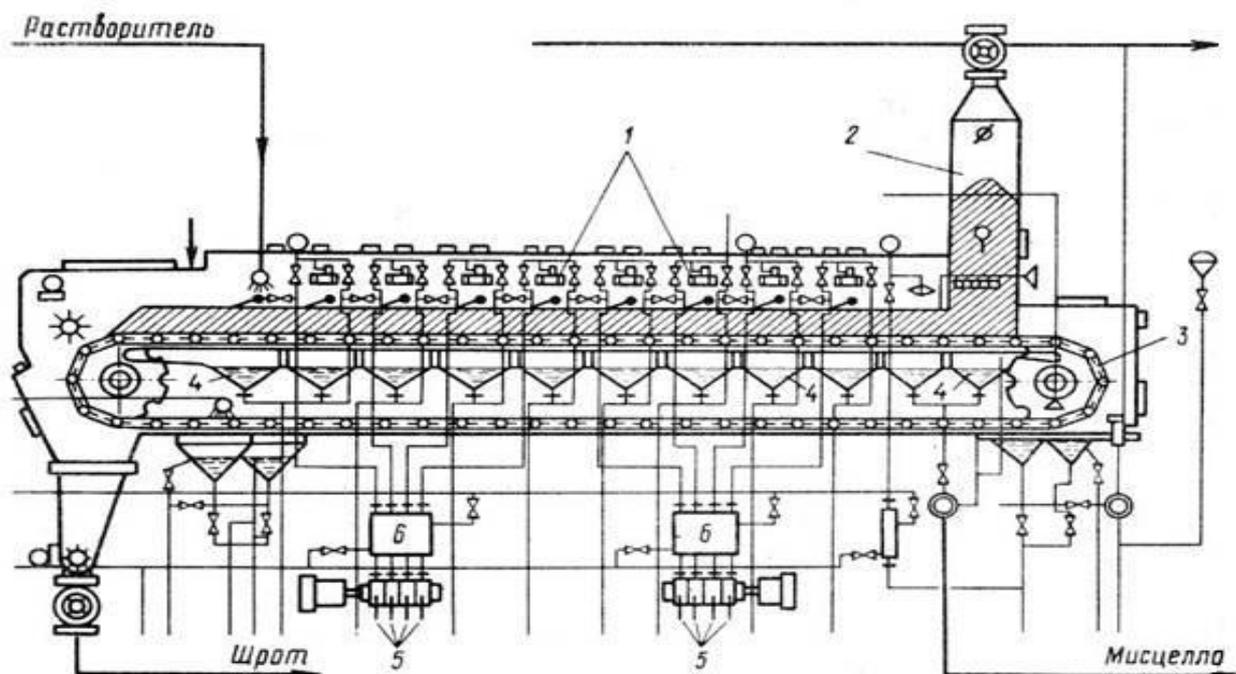


Рис. 33. Ленточный экстрактор МЭЗ

Экстрактор представляет собой прямоугольную коробку, внутри которой расположен горизонтальный сетчатый транспортер 3. Он состоит из рамок, к которым крепятся стальные перфорированные листы, сверху обтянутые металлической плетеной сеткой с ячейками 0,8 x 0,8 мм. Рабочей является только верхняя ветвь транспортера. Она условно разбита на 8 зон орошения, поэтому под рабочей частью установлено 8 сборников для рециркуляционной мисцеллы 4. Также имеются два сборника, предназначенные для

сбора мисцеллы, промывающей ленту экстрактора, и для мисцеллы, перетекающей из последнего рециркуляционного сборника.

Нижняя ветвь ленты нерабочая, здесь происходит очистка сетки ленты щетками и промывка мисцеллой.

Подача мисцеллы из одной зоны орошения в другую осуществляется двумя блок-насосами 5.

Перед подачей на орошение мисцелла подогревается в теплообменнике 6. Экстрагируемый материал поступает в загрузочный бункер 2 и перемещается по ленточному транспортеру 3. Сначала материал орошается мисцеллой убывающей концентрации, а затем чистым растворителем, которые подаются через форсунки 1. Мисцелла или растворитель фильтруются через слой материала, экстрагируют из него масло и в виде мисцеллы более высокой концентрации стекают в соответствующий сборник 4, расположенный под этой зоной. Чтобы во время экстракции растворитель не проходил через слой материала по одним и тем же каналам, поверхность материала рыхлится на глубину 100 мм специальными подвесными рыхлителями.

Расположенные внизу коммуникации обеспечивают сбор мисцеллы, их частичный возврат на орошение и транспортировку на дистилляцию.

При движении материала и мисцеллы соблюдается принцип противотока. Движение мисцеллы к выходу из экстрактора идет только через мисцеллосборники, в которых есть переливные отверстия. При циркуляции мисцелла, забираемая из сборника насосом, подается на орошение той же зоны, образуя цикл. Обезжиренный шрот сбрасывается с транспортера в бункер. Высота слоя материала 0,8...1,4 м, регулируется шибером. Скорость ленты 0,5...5 м/ч, чаще 4,5...5 м/ч. Продолжительность экстракции 190...170 мин. Температура подогрева мисцеллы н/б 55 °С. Масличность шрота (при влажности 9 %), % н/б:

- для подсолнечника, хлопчатника - 1,0;

- для сои - 0,6...0,7.

Концентрация мисцеллы н/б, % - 25...30.

Отстой в мисцелле, н/б, % - 0,03.

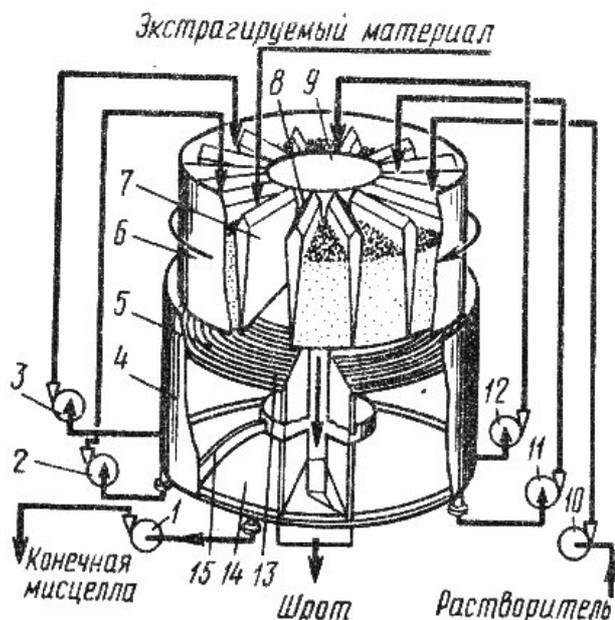
Экстракторы подобного типа различной конструкции отличаются только способом транспортировки материала: ковши с дырчатым днищем (горизонтальный ковшовый экстрактор фирмы «Джанаца», вертикальный экстрактор Больцмана), корзины (горизонтальный экстрактор «Окрим»). Емкость для экстрагируемого материала образует нечто вроде карусели в горизонтальной или вертикальной плоскости.

В схеме движения растворителя и мисцеллы в экстракторах предусмотрено смачивание свежего материала мисцеллой при поступлении его на

движущееся устройство, орошение мисцеллой убывающей концентрации в несколько ступеней рециркуляции, орошение материала чистым растворителем и сток растворителя из обезжиренного материала.

Наиболее совершенным типом экстрактора в настоящее время является *роторный карусельный экстрактор* (рис. 34).

Это карусельный противоточный аппарат, работающий по принципу многоступенчатого орошения экстрагируемого материала растворителем в режиме затопленного слоя.



1 – насос конечной (концентрированной) мисцеллы; 2, 3, 11, 12 – рециркуляционные насосы для мисцеллы; 4 – корпус экстрактора; 5 – перфорированное днище; 6 – наружная обечайка; 7 – радиальная перегородка ротора; 8 – внутренняя обечайка; 9 – ротор экстрактора; 10 – насос растворителя; 13 – сплошной участок днища; 14 – мисцеллосборник; 15 – перегородки мисцеллосборника.

Рис. 34. Роторный карусельный экстрактор

Состоит из корпуса, ротора, разделенного на 18 секций, перфорированного днища, распределителя мисцеллы и мисцеллосборников. Ротор экстрактора 9 состоит из наружной 6 и внутренней 8 обечайек, образующих кольцевое пространство, разделенное радиальными перегородками 7 на секции или камеры, с помощью которых при вращении ротора перемещается экстрагируемый материал.

Днище секций ротора общее, неподвижное, щелевое для прохода мисцеллы. Нижняя часть экстрактора разделена вертикальными радиальными перегородками и образует мисцеллосборники. Для каждой ступени орошения – свой мисцеллосборник, днища у них имеют уклон  $12^{\circ}$  к наружной стенке и патрубки для вывода мисцеллы к рециркуляционным насосам, которые собирают мисцеллу и распределяют ее на орошение.

Экстрагируемый материал загружается в секции ротора, располагается в виде слоя высотой 1...1,6 м. По мере медленного вращения ротора (один оборот совершается за 35...208 мин) материал орошается мисцеллой возрас-

тающей концентрации. За полный оборот ротора проходит полный цикл экстракции. Днище имеет секторный вырез, через который шрот в конце цикла выводится из экстрактора. Следующий за этим вырезом участок днища является сплошным и перфорации не имеет. После того, как камера освободится от шрота, пройдет неперфорированный участок, экстрактор вновь заполняется свежим материалом. Мисцелла подогревается в теплообменниках типа труба в трубе до температуры 55...60<sup>0</sup>С.

Режим экстракции дискретный: сначала орошение материала, затем сток мисцеллы. Готовая мисцелла не выводится сразу из экстрактора, а для дополнительной фильтрации от мелких частиц подается в третью секцию, затем чистая концентрированная выводится на дальнейшую переработку.

Роторные карусельные экстракторы выпускают в одно- и двухъярусном исполнении. Являются современными и прогрессивными аппаратами и перед другими типами экстракторов имеют существенные преимущества: очень компактные, более полное использование полезного объема аппарата, минимальное количество движущихся частей (только ротор), точное разграничение ступеней орошения (достигается высокая разность концентраций мисцеллы по ступеням).

Наиболее эффективны и наиболее экономичны экстракторы, работающие по смешанному способу, например экстрактор «Фильтрекс» (рис. 35).

Для процесса экстракции и процесса отделения мисцеллы от экстрагируемого материала в схеме используются отдельные аппараты.

Собственно экстракция проводится в горизонтальном экстракторе 1, который снабжен многолопастной мешалкой, она перемешивает и перемещает материал вдоль экстрактора справа налево. Экстракция ведется по способу погружения. В экстракторе материал находится 30...45 мин при температуре около 50 <sup>0</sup>С, при этом извлекается до 90 % масла. Из экстрактора 1 все содержимое, т.е. смесь твердой и жидкой фазы, передается герметичным шнеком 2 в горизонтальный тарельчатый вакуум-фильтр 3. Здесь мисцелла фильтруется и отделяется от твердой фазы с одновременным окончательным обезжириванием материала.

Окончательное обезжиривание обеспечивается трехступенчатой противоточной промывкой материала мисцеллой убывающей концентрации, а в заключение – чистым растворителем. Окончательно обезжиренный материал переходит в разгрузочный шнек 8. Конструкция вакуум-фильтра напоминает роторный экстрактор. Под корпусом вакуум-фильтра расположены пять заблокированных вакуум-мисцеллосборников ба – бд.

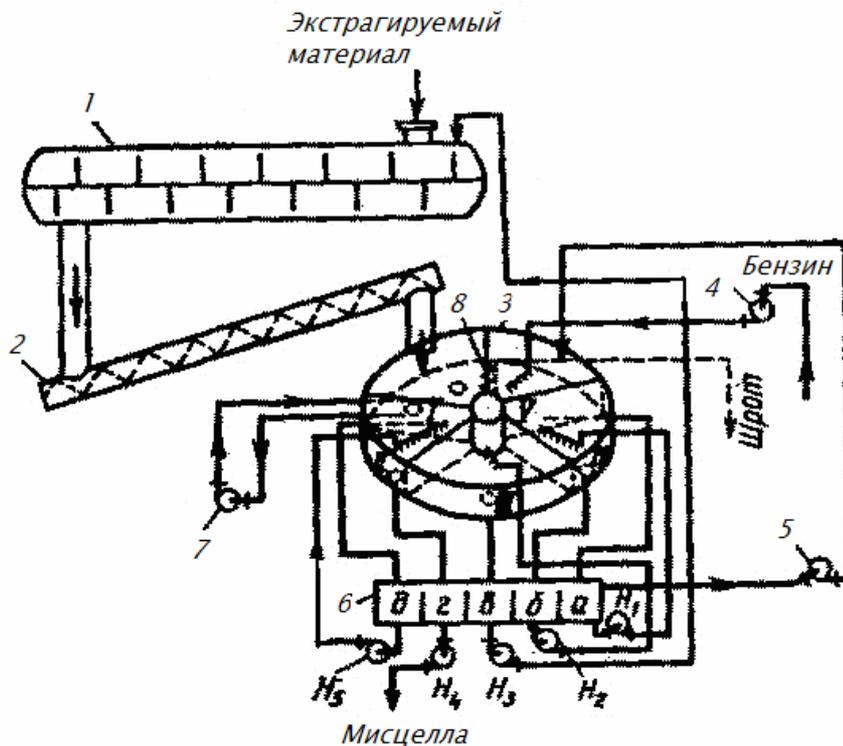


Рис. 35. Принципиальная схема экстрактора «Филтрекс»

### Контрольные вопросы

1. Чем обусловлено широкое использование экстракции при получении растительных масел?
2. Какие требования предъявляются к растворителям?
3. Характеристика основных растворителей, применяемых в промышленности.
4. Характеристика основных методов экстракции масла из масличного сырья.
5. Теоретические основы процесса экстракции масла.
6. Каким образом осуществляют подготовку материала к экстракции?
7. Какие факторы и каким образом влияют на процесс экстракции?
8. Характеристика основных методов и способов экстракции.
9. Принцип действия оборудования, используемого для экстракции масла.

## 6. ПЕРЕРАБОТКА МИСЦЕЛЛЫ

В результате экстракции образуется мисцелла, представляющая собой раствор, состоящий из легколетучего растворителя, масла, сопутствующих маслу веществ и твердых частиц экстрагируемого материала разного размера.

С целью разделения мисцеллы на масло и растворитель и удаления из нее твердой фазы мисцеллу подвергают обработке. Она включает два основных этапа:

- освобождение от механических твердых примесей;
- *дистилляцию*, т.е. удаление растворителя.

### 6.1. Очистка мисцеллы от твердых примесей

Мисцелла при выходе из экстрактора содержит 0,4...1,0 % твердых взвешенных частиц. Необходимость извлечения твердой фазы обусловлена следующими факторами:

- наличие твердых частиц приводит к неравномерному кипению мисцеллы в дистилляторе и может вызвать выбросы;
- при высоких температурах твердые частицы могут пригорать к поверхностям нагрева, тем самым ухудшаются условия теплоотдачи и понижается качество готового масла.

Устойчивая работа оборудования по обработке мисцеллы возможна только при содержании твердых частиц в ней не более 0,2 %.

Предварительная очистка мисцеллы производится в декантаторе (если экстракция проводится по способу погружения) или самофильтрацией мисцеллы через слой экстрагируемого материала, если экстракция проводится по способу многократного орошения.

Для очистки мисцеллы используются методы отстаивания, центрифугирования, фильтрования. При выборе метода очистки определяющим фактором является количество примесей, содержащихся в мисцелле.

*Отстаивание* – как самостоятельный способ отделения твердых частиц применяется редко, т.к. скорость их осаждения сравнительно мала. Она зависит от размера частиц, разностей плотностей взвесей и мисцеллы, вязкости мисцеллы, температуры. Чем меньше размеры частиц и разность в плотности обеих фаз, тем медленнее будет протекать осаждение.

*Центрифугирование* – способ очистки мисцеллы в поле центробежных сил. В этом случае используются сплошные или проницаемые для жидкости

перегородки. Это очень эффективный способ механического разделения, но для очистки мисцеллы применяется в опытных и полупромышленных испытаниях.

*Фильтрация* – наиболее распространенный способ очистки мисцеллы на предприятиях. Существуют три основных вида фильтрации:

- с образованием слоя осадка на фильтрующей перегородке;
- сгущение-фильтрация, при которой выделение твердой фазы происходит не в виде осадка, а путем получения высококонцентрированной суспензии;
- осветление-фильтрация жидкости с небольшим содержанием твердых частиц.

На маслоэкстракционных заводах практически применяется только первый вид фильтрации. Технически процесс осуществляется на патронных фильтрах, на ротационных дисковых фильтрах, на дисковых фильтрах фирмы СКЕТ.

Если содержание примесей в мисцелле невелико (особенно после экстракции по способу ступенчатого орошения), то очистку производят, пропуская через мисцеллу раствор электролита (5 % раствор NaCl) в коагуляторе.

## 6.2. Дистилляция мисцеллы

Перед подачей мисцеллы на дистилляцию осуществляют ее подогрев до температуры 60...70 °С в трубчатых теплообменниках, называемых подогревателями. Они имеют перегородки для увеличения пути движения и времени контакта мисцеллы с парами бензина и воды, которые выступают в качестве теплоносителя, т.к. выходят из предварительного дистиллятора или шнекового испарителя с определенной температурой. Такой подогрев позволяет использовать поверхность нагрева при дистилляции непосредственно для выпаривания растворителя.

*Дистилляция* – процесс тепловой обработки раствора масла в растворителе. Заключается в переводе растворителя в парообразное состояние, отводе паров и их конденсации. Растворитель должен быть как можно полнее удален из масла при минимальных температурах за возможно более короткий промежуток времени.

Механизм процесса парообразования с точки зрения молекулярно-кинетической теории заключается в следующем. Молекулы жидкости вблизи поверхности нагрева обладают в данный момент большой скоростью и вылетают в пространство над жидкостью, становятся свободными. Каждая такая молекула преодолевает силы сцепления жидкости и сопротивление внешнего давления. В жидкости при любой температуре существует некоторое количество молекул, энергия которых превышает модуль потенциальной

энергии их связи с остальными молекулами вещества. При повышении температуры (испарение) кинетическая энергия молекул возрастает, т.к. увеличивается скорость движения молекул, и превышает потенциальную энергию их связи с остальными частицами. При испарении с поверхности жидкости вылетают наиболее быстрые частицы, обладающие максимальной кинетической энергией. В результате средняя кинетическая энергия оставшихся частиц уменьшается, поэтому испарение сопровождается охлаждением жидкости.

### *6.2.1. Основные методы удаления растворителя из мисцеллы*

*Выпаривание при помощи глухого пара.* Практически это процесс простого выпаривания, который протекает в виде кипения или испарения.

При кипении переход растворителя в парообразное состояние происходит при температуре, при которой парциальное давление его паров равно давлению в окружающем пространстве. Однако полностью растворитель путем выпаривания удалить невозможно, т.к. с повышением концентрации мисцеллы температура ее кипения резко возрастает. При дальнейшем повышении температуры качество масла ухудшается вплоть до термического разложения молекул триглицеридов.

При испарении переход растворителя в пар происходит при температуре, при которой парциальное давление его паров ниже давления в окружающем пространстве. Способ самый неэкономичный, масло получается худшего качества.

*Отгонка с острым водяным паром.* Применяется для ускорения процесса выпаривания и снижения температуры полной отгонки растворителя. Проводится при атмосферном давлении или под вакуумом.

Использование острого водяного пара приводит к снижению парциального давления паров растворителя, тем самым уменьшается температура кипения мисцеллы, облегчается и ускоряется процесс отгонки. Кроме того, острый пар обеспечивает перемешивание мисцеллы, интенсифицирует унос паров растворителя. Одновременно масло частично дезодорируется, освобождаясь от ароматических паров. Использование вакуума снижает температуру кипения мисцеллы и предохраняет от перегрева масло.

### *6.2.2. Теоретические основы процесса дистилляции*

Для изучения теоретических основ данного процесса необходимо знать температуру кипения раствора и давление паров растворителя над ним. Про-

цесс дистилляции определяется зависимостью между этими свойствами мисцеллы и ее концентрацией.

Зависимость давления паров растворителя над мисцеллой от ее концентрации имеет отклонение от вычисленной по закону Рауля. Отсутствие идеальности в системе масло - растворитель связано с действием сил Ван-дер-Ваальса между молекулами и в случае отрицательного отклонения от закона Рауля притяжение между молекулами растворителя меньше, чем между молекулами растворителя и масла в мисцелле.

При изучении зависимости температуры кипения мисцеллы от ее концентрации при различных давлениях обнаружено, что температура кипения мисцеллы резко возрастает при концентрациях выше 60 %, что приводит к резкому увеличению температуры процесса дистилляции. Даже при применении глубокого вакуума температура кипения высококонцентрированных мисцелл очень высокая и из-за разложения масла вести дистилляцию невозможно. В связи с этим удаление растворителя из мисцеллы производят в два периода.

В первый период проводят выпаривание, которое подчиняется всем известным закономерностям этого процесса и может осуществляться как при атмосферном давлении, так и при разрежении. В этот период мисцелла должна достичь такой концентрации, чтобы температура кипения не превышала 100 °С.

Во втором периоде дополнительно применяется острый водяной пар, поэтому закономерности процесса другие. Система будет состоять из трех компонентов: растворитель, масло, вода, которые представляют три фазы: две жидкие (мисцелла, вода) и одна паровая – растворитель. Согласно правилу фаз такая система имеет две степени свободы. Это означает, что без нарушения равновесия можно менять два параметра, в данном случае – общее давление и концентрацию мисцеллы.

Если в процессе дистилляции используется перегретый водяной пар, то число компонентов будет три (растворитель, масло, водяной пар), а фаз только две: жидкая – мисцелла и паровая – пары растворителя и воды. Число степеней свободы в такой системе равно трем, следовательно, можно менять общее давление, концентрацию мисцеллы и парциальное давление воды.

### *6.2.3. Основные промышленные способы дистилляции мисцеллы*

На различных стадиях отгонки растворителя из мисцеллы в промышленности применяют разные способы дистилляции: распылением, в пленке, в слое.

*Дистилляция распылением.* Мисцелла выходит из форсунки в виде струи, которая дробится на капли. Значительно увеличивается поверхность раздела жидкой и газообразной фаз, что увеличивает производительность процесса, снижает его продолжительность. По гидродинамическим изменениям в жидкой фазе условно различают три периода: образование отдельных капель, развитие турбулентности в пределах отдельных капель и затухание этого процесса. В газовой фазе состояние и свойства паров в любой точке одинаковы благодаря перемешиванию.

Для предварительной дистилляции распылением характерен только один период – кипение; при окончательной дистилляции распылением, – как правило, и кипение и испарение.

*Дистилляция в пленке.* Подразделяется на дистилляцию в стекающей пленке и дистилляцию в поднимающейся пленке под воздействием парового потока, так называемое «обращенное течение». Толщина пленки определяется физическими свойствами мисцеллы, свойствами поверхности, ее расположением, условиями дистилляции. Удаление растворителя из пленки происходит в основном так же, как со свободной поверхности. Большое значение имеет наличие или отсутствие обогрева поверхности, на которой образуется пленка. Если поверхность обогревается, то испарение происходит интенсивнее за счет дополнительного источника тепла и изменения механизма массопереноса на обогреваемой поверхности.

*Дистилляция в слое.* Применяется для мисцелл высоких концентраций (80...85 %). Растворитель удаляется путем испарения из слоя мисцеллы. Для интенсификации процесса используют вакуум, а слой мисцеллы барботируют острым паром. При использовании бензинов дистилляция в слое является необходимым этапом окончательной дистилляции, при переходе на низкокипящий химически однородный растворитель (гексан) дистилляцию в слое можно исключить.

Рассмотренные методы дистилляции отличаются величиной поверхности раздела жидкой и паровой фаз – величиной так называемого *зеркала испарения*. Величина зеркала испарения на единицу объема мисцеллы увеличивается от дистилляции в слое к дистилляции распылением. Чем больше зеркало испарения, тем больше скорость дистилляции.

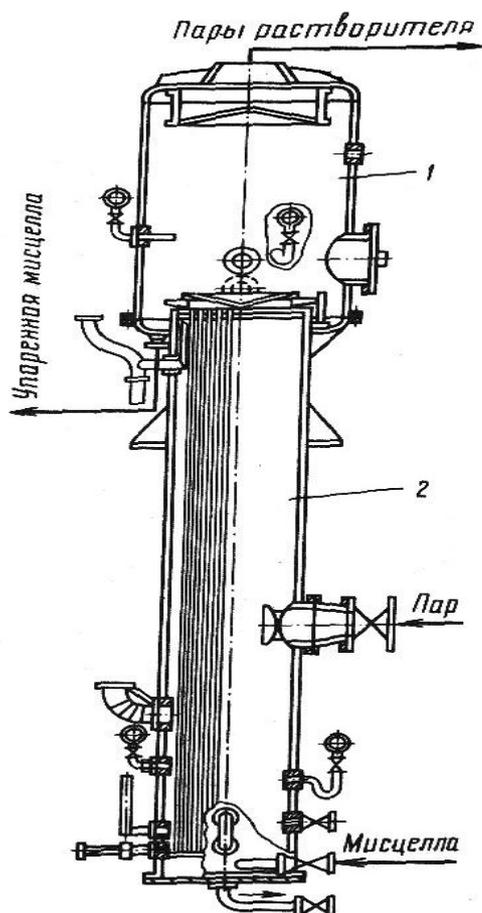
*Перспективным способом является дистилляция в закрученном потоке:* прямоточное взаимодействие фаз сочетается с вращательным движением жидкости в поперечном сечении аппарата, скорость сплошной фазы значительно увеличивается. Более высокая производительность на стадии окончательной дистилляции достигается при сочетании закрученного потока с распылением жидкой фазы. Однако техническое воплощение данного метода очень сложное. Готовность экстракционного масла определяется по температуре вспышки: для многих масел – н/м 225 °С (что соответствует содержанию бензина  $\approx 0,01$  %). Температура вспышки масла – это максимальная температура

тура масла, при которой над его поверхностью происходит вспышка летучих продуктов в присутствии открытого огня. Даже следы растворителя резко снижают температуру вспышки.

#### 6.2.4. Основные технологические схемы дистилляции мисцеллы

Основные требования к процессу отгонки растворителя из мисцеллы диктуются качеством готового экстракционного масла – наиболее полная отгонка растворителя при минимальных температурах и минимальной продолжительности процесса. Осуществить эти требования можно только при ступенчатом ведении отгонки растворителя, по-разному воздействуя на мисцеллу по мере возрастания содержания в ней масла. В промышленных установках дистилляцию мисцеллы проводят чаще по двух- и трехступенчатой схемам. Трехступенчатая дистилляция на экстракционной линии HD-1250. Установка состоит из двух пленочных дистилляторов (первая и вторая ступени), работающих последовательно при атмосферном давлении, и окончательного, работающего под разрежением.

Пленочный дистиллятор (рис. 36).



Конструкция аппарата состоит из сепаратора 1 и трубочной секции 2. Мисцелла проходит по внутренней поверхности трубок в виде тонкой поднимающейся пленки. Обогревается глухим перегретым паром с температурой 180...200 °С и  $P = 0,3$  МПа.

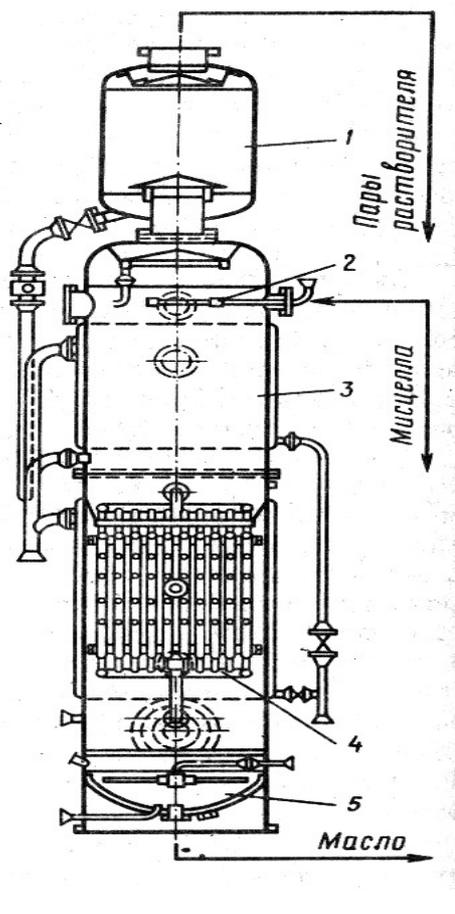
Мисцелла кипит, образуется большое количество пузырьков растворителя, они поднимаются вверх с большой скоростью по трубам, увлекают за собой мисцеллу, и смесь попадает в сепаратор.

Упаренная от 15...20 % до 55...60 % с температурой 60...85 °С мисцелла собирается в нижней части сепаратора и насосом подается на вторую ступень.

Рис. 36. Пленочный дистиллятор

Конструкция аппарата и параметры глухого пара на второй ступени аналогичны. После пленочного дистиллятора второй ступени концентрация мисцеллы возрастает до 90...95 %, температура на выходе – 95...100 °С.

Окончательный дистиллятор (рис. 37)



Окончательный дистиллятор состоит из каплеуловителя 1 и трех камер – распылительной 3, пленочной 4 и дезодорационной 5.

Здесь сочетаются все три метода дистилляции – распыление, в стекающей пленке и в слое.

Перегретая мисцелла из второго пленочного дистиллятора поступает в распылительные форсунки 2. При распылении под вакуумом растворитель интенсивно отгоняется. Затем капли высококонцентрированной мисцеллы распределяются по щитам и стекают вниз в виде тонкой пленки, навстречу подается острый пар, растворитель дополнительно отгоняется.

В дезодорационной камере 5 почти готовое масло обрабатывается в слое 400...450 мм острым перегретым паром до температуры 100...110 °С. Масло окончательно освобождается от растворителя

и поступает на охлаждение.

Рис. 37. Окончательный дистиллятор

Дистилляционная установка экстракционной линии МЭЗ трехступенчатая:

1-я ступень: отгонка растворителя при кипении в системе экономайзер - сепаратор под действием тепла сокового пара от шнекового испарителя.

2-я ступень: в трубчатом вертикальном испарителе с сепаратором под действием тепла глухого пара рубашки.

3-я ступень: удаление остатков растворителя осуществляется в процессе испарения и перегонки с водяным паром сначала в подогревателе-

испарителе, а затем в пластинчатом дистилляторе. Все три ступени дистилляции работают под вакуумом.

Дистилляционная установка с карусельным роторным экстрактором действует по трехступенчатой схеме:

1-я ступень: испаритель с опускающейся пленкой, работающий под вакуумом 0,05 МПа;

2-я ступень: испаритель с восходящей пленкой под таким же вакуумом;

3-я ступень: двойная вакуумная ректификационная колонна. Масло по всей схеме дистилляции нагревается не выше 90 °С, что обеспечивает его высокое качество.

#### *6.2.5. Изменение составных частей мисцеллы при дистилляции*

На качество масла при дистилляции влияет режим проведения процесса и конструкция аппарата. Существенное влияние оказывает температура, влага, вносимая с паром и мисцеллой, кислород воздуха, продолжительность дистилляции. Изменения могут претерпевать как триглицериды, так и сопутствующие жирам вещества.

Однако триглицериды значительно не изменяются, т.к. подобранные технологические режимы дистилляции предотвращают их гидролиз и окисление.

Мисцелла под действием температуры изменяет свои физические свойства: вязкость, плотность, поверхностное натяжение. Но на качестве масла это не отражается.

В ходе дистилляции может увеличиваться кислотное число масла под действием влаги и температуры (выше 130 °С) и загрязнения поверхности нагрева. Незначительная отгонка свободных жирных кислот практически не снижает кислотное число.

Значительным изменениям подвергаются вещества, сопутствующие маслам, особенно фосфатиды. Затрагиваются и каротиноиды, стеролы, токоферолы, витамины, провитамины. Изменение структурных липидов не только снижает качество масла, но и затрудняет проведение дистилляции и технологических процессов при последующей переработке масла.

В присутствии сахаров проходит меланоидиновая реакция, образуются меланоидинфосфататы – темно-окрашенные соединения, не представляющие питательную ценность. Для удаления сахаров из мисцеллы проводят промывку мисцеллы водно-солевым раствором.

Особенно сильно изменяется госсипол хлопкового масла. За счет гидролиза, окисления и других разнообразных превращений образуются вещества, не реагирующие со щелочами. В результате получается масло, плохо поддающееся рафинации, и очень темного цвета. Поэтому для хлопкового масла рафинацию целесообразно проводить в мисцелле.

Кроме того, в ходе дистилляции могут образоваться различные продукты окисления, как первичные (перекиси, гидроперекиси), так и вторичные (эпоксиды-, оксикислоты, карбонильные соединения). Поэтому необходимо:

- по возможности снижать температуру отгонки растворителя;
- немедленно охлаждать масло на выходе из дистиллятора;
- применять деаэрированный острый пар.

#### Контрольные вопросы

1. Каким образом осуществляют очистку мисцеллы от твердых примесей?
2. Теоретические основы процесса дистилляции мисцеллы.
3. Характеристика основных методов удаления растворителя из мисцеллы.
4. Основные промышленные способы дистилляции мисцеллы.
5. Устройство и принцип действия основного оборудования, используемого для дистилляции мисцеллы.
6. Как изменяются составные части мисцеллы при ее дистилляции?

## 7. ОБРАБОТКА И ХРАНЕНИЕ ЖМЫХОВ И ШРОТОВ

Жмыхи и шроты являются вторичными продуктами при получении растительных масел. Они применяются в основном для кормовых и пищевых целей. Их ценность заключается в следующем:

- большое количество белков (35...50 %);
- высокое содержание жиров, углеводов, фосфорсодержащих веществ;
- наличие зольных элементов (6...7 %);
- присутствие значительного количества витаминов группы В.

Задачей масложировых предприятий, кроме выработки качественных жмыхов и шротов, является сохранение их показателей в процессе хранения. Они являются прекрасной питательной средой для макро- и микроорганизмов. К тому же структура материала с широко развитой поверхностью, а также повышенная температура и влажность способствуют развитию микроорганизмов.

При неправильном хранении проходят процессы, аналогичные, что и для семенной массы. Основными признаками поражения массы жмыхов и

шротов являются разогрев и слеживание, развитие плесени, прогорклый вкус (за счет окислительных процессов в жирных ненасыщенных кислотах), затхлый запах.

Согласно ГОСТ на жмыхи и шроты всех масличных культур они:

- должны содержать определенное количество жира, золы, протеинов;
- не должны иметь постороннего запаха (затхлости, плесени, горелости);
- не должны содержать посторонние примеси (камешки, песок, землю);
- должны иметь при закладке на хранение температуру не выше 35...40 °С, влажность 8...9 %, остаточное содержание растворителя в шроте н/б 0,1 %.

Поэтому жмыхи и шроты необходимо кондиционировать по температуре и содержанию влаги, а шроты – дополнительно по содержанию растворителя.

### 7.1. Обработка прессового жмыха перед хранением

Из пресса жмых выходит в виде брикета с температурой 120...130 °С, влажностью 2...3 %, масличностью 6...7 %. Хранить такой жмых нельзя, т.к. протекают нежелательные процессы порчи. За счет высокой температуры вода несколько испаряется, влажность сначала снижается, а затем вновь повышается благодаря сорбции влаги из воздуха и становится значительно выше равновесной влажности жмыха 11...14 %. При сорбции выделяется теплота, поэтому температура жмыха повышается. Процессы эти неравномерные по массе и могут привести к самовозгоранию. Поэтому жмых необходимо измельчать, увлажнять, охлаждать.

При увлажнении вводимая вода испаряется и вызывает частичное охлаждение. Стадия осуществляется в обычном транспортном шнеке, который должен быть в закрытом металлическом кожухе и с вытяжной трубой. Для подачи воды над шнеком устанавливают форсунки на высоте 10...15 см. Через вытяжную трубу естественной аспирацией отводятся пары воды.

Дальнейшее охлаждение происходит в процессе транспортировки до хранилища или в специальных охладителях (при очень высоких температурах).

Измельчение до необходимого размера осуществляют на дробилках и/или мельницах.

Жмых, направляемый на хранение, должен иметь влажность 7,5...8,5 %, температуру н/б 35 °С, размер частиц н/б 10...15 мм.

## 7.2. Отгонка растворителя из шрота

Выходящий из экстрактора шрот содержит 25...40 % растворителя и воды. Количество этой смеси называют *бензовлагодьем* шрота. Ее величина зависит от многих факторов: от состава и свойств растворителя, от структуры материала перед экстракцией, от типа экстрактора и т.д.

Растворитель в шроте находится в связанном состоянии, в основном посредством механической и физико-химической связи. Химической связи практически нет, т.к. экстрагенты инертны к экстрагируемому материалу. В шроте есть особая форма связи растворителя – с маслом. Масло здесь находится в виде концентрированной мисцеллы, из которой растворитель удаляется очень трудно.

Механическая связь наиболее слабая. Чтобы уменьшить образование физико-химической связи, нужно изменить внутреннюю и внешнюю структуру. Чем больше пористость частиц, тем больше доля механической формы связи. По размеру частиц должен соблюдаться оптимум: очень мелкая фракция забивает поры, ухудшается проницаемость, увеличивается бензовлагодьем; крупные частицы увеличивают маслячность шрота, поэтому количество растворителя, связанное с маслом, повышается, отгонка затрудняется.

Процесс отгонки растворителя аналогичен сушке. Сначала осуществляется испарение растворителя с поверхности частиц шрота, появляется градиент бензиносодержания, затем перемещение растворителя изнутри частицы к ее поверхности. На кинетических кривых наблюдается также наличие двух периодов отгонки: с постоянной скоростью (удаляется слабосвязанный растворитель) и падающей скоростью отгонки (удаляется растворитель изнутри).

Так как по мере испарения растворителя концентрация мисцеллы растет, температуру приходится увеличивать, она может быть очень высокая (до 160 °С). При такой температуре возможна денатурация белков, после которой они не усваиваются организмом, кормовая ценность значительно снижается. Наиболее серьезные изменения происходят в шроте, получаемом методом экстракции сырого лепестка.

В результате отгонки возможны и положительные процессы: инактивация токсинов и антипитательных веществ (соина – в соевых, рицина – в клещевинных, госсипола – в хлопковых шротах).

## 7.3. Промышленные способы отгонки

Отгонку растворителя из шрота осуществляют тремя основными способами:

- отгонка в перемешиваемом слое;
- отгонка из перемешиваемого материала в частично взвешенном состоянии;
- отгонка во взвешенном состоянии.

*Отгонка в перемешиваемом слое.* Осуществляется в чанных *испарителях-тостерах* (рис. 38). Это аппараты колонного типа содержат 9,10,11 чанов диаметром 2,1 м. Каждый два чана имеют общую паровую рубашку. Через все чаны проходит вал 1 с ножами-мешалками 2 для перемешивания и перемещения из чана в чан.

Внутри полого вала подается острый пар и далее по трубкам в ножи-мешалки.

Шрот загружается в патрубок верхнего чана 3. Под воздействием глухого и острого пара шрот пропаривается, пары растворителя, удаляются в вертикальный воздухопровод – коллектор 5, а затем в расширитель 4.

В перегородках секций имеются отверстия для перемещения шрота сверху вниз и колосники для прохода паров снизу вверх.

Для выхода готового шрота применяют разгрузочный шнек и клапанный выгрузитель 6.

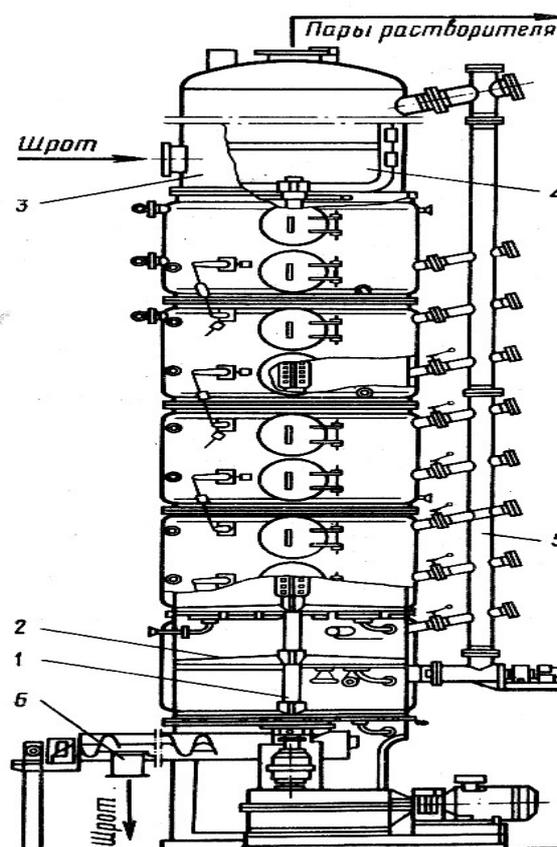


Рис. 38. Гостер (чанный испаритель)

Режим отгонки:

Толщина слоя – 400 мм; время в тостере – 55...65 мин.; температура шрота 100...105 °С, влажность 8,5...10 %, остаточное содержание растворителя – 0,05 %.

В тостере процесс можно регулировать на каждой стадии, не происходит сильного пересушивания шрота, более равномерная влаготепловая обработка, очень эффективная отгонка растворителя, но не исключаются местные перегревы.

*Отгонка из перемешиваемого материала в частично взвешенном состоянии.* Осуществляется в шнековых испарителях различных конструкций, которые подразделяются на два типа: с последовательным (HD-1250, «ДеСмет», МЭЗ - 350, «Лурги») и параллельным отводом паров бензина и воды. Наиболее распространены HD-1250 и МЭЗ.

Аппарат (рис.39) состоит из двух секций по три шнековых испарителя в каждой:

1-я (верхняя секция) – для предварительной отгонки растворителя,

2-я (нижняя секция) – для окончательной отгонки и дезодорации шрота.

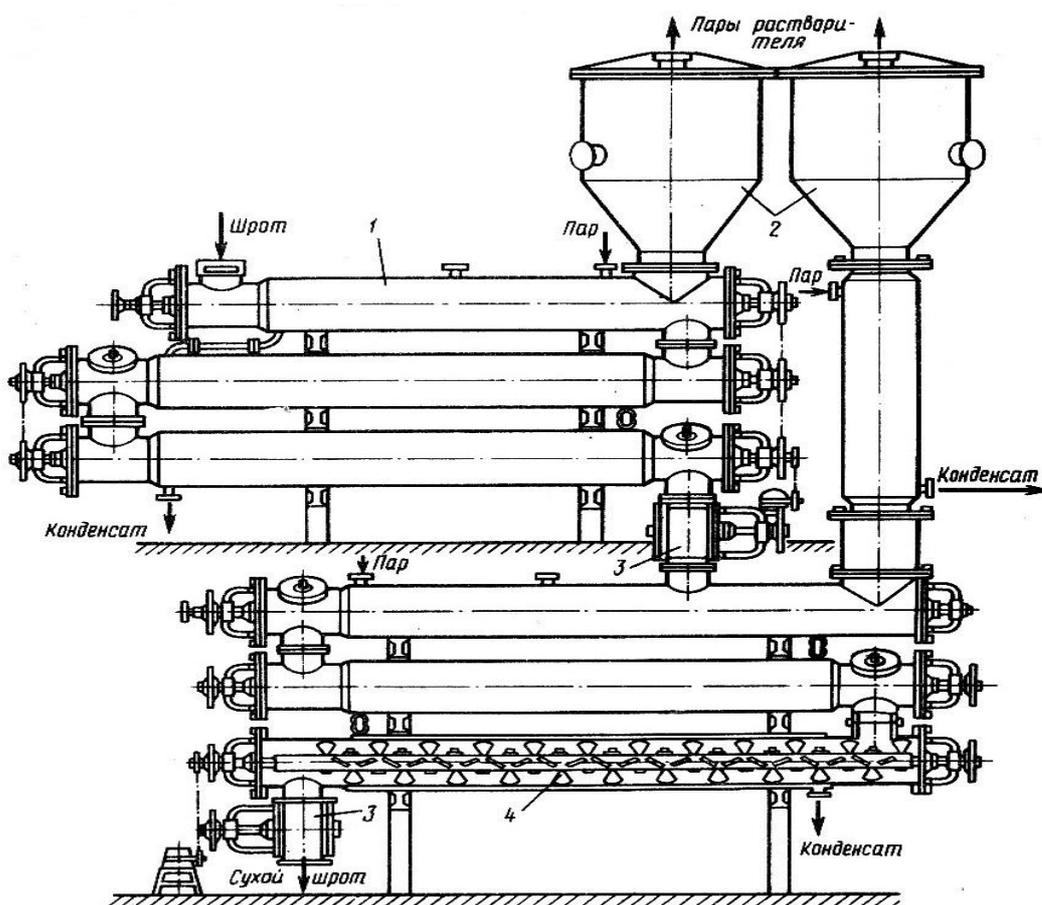


Рис. 39. Шнековый испаритель установки HD-1250

В первой секции растворитель удаляется с помощью глухого пара при атмосферном давлении, во второй – и глухим и острым при небольшом разрежении.

Шрот из экстрактора поступает в верхний испарительный шнек 1 первой секции через питатель, подхватывается вращающимися лопатками и перемещается к противоположному концу и через перепускные патрубки проходит все шнеки (секции соединяются с помощью шлюзового затвора 3).

Образующиеся пары растворителя и воды из каждой секции уносятся в соответствующую шротоловушку 2, представляющую собой расширитель, в котором скорость смеси снижается, унесенные частицы шрота оседают и по мере накопления падают в верхний шнек.

Выгрузка готового шрота осуществляется лопастным валом 4 через шлюзовый затвор 3.

Готовый шрот имеет температуру 95...100 °С и содержание растворителя н/б 0,2 %.

*Отгонка растворителя из шрота во взвешенном состоянии.* В этом случае применяется испаритель Белтера (рис. 40).

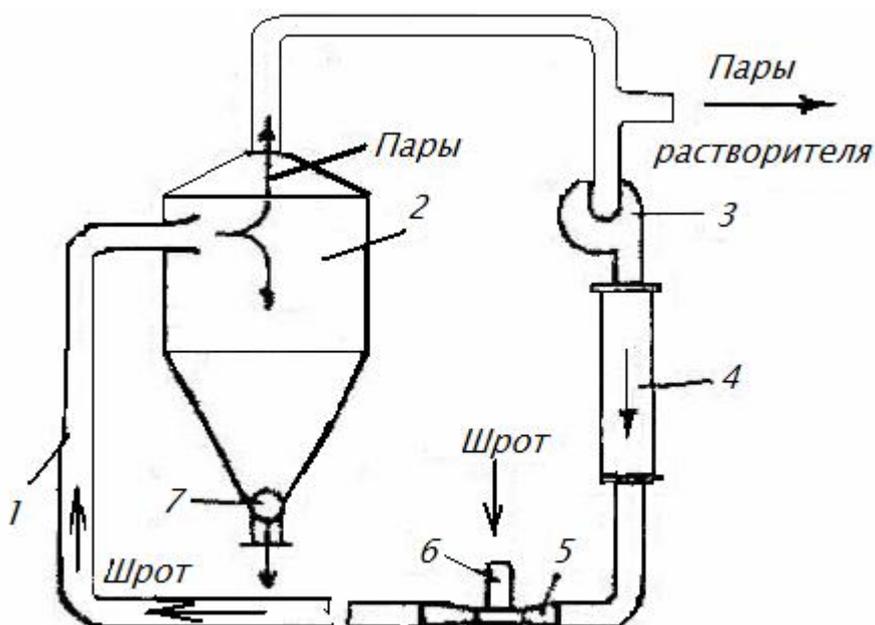


Рис. 40. Схема установки испарителя Белтера

Шрот после экстрактора подается через патрубок 6 в испарительную трубку 1. Здесь он распыляется перегретыми парами растворителя с температурой 140...160 °С, которые подаются вентилятором 3 через насадку Вентури 5. Пары растворителя вместе со шротом перемещаются с большой скоростью

по трубе. При распылении растворитель интенсивно испаряется. При попадании в сепаратор 2 скорость потока резко теряется, шрот оседает и выгружается через шлюзовой затвор 7. Паровоздушная смесь отводится на конденсацию, а часть возвращается в цикл на обработку шрота через подогреватель 4.

Время нагрева – несколько секунд (белки практически не изменяются). Но остаточное содержание растворителя составляет 0,2...0,75 % (допустимое – 0,1 %).

Паробензиновые смеси, полученные при отгонке растворителя из шрота, направляются на очистку в шротоловушки, работающие сухим и/или мокрым способом. Они устанавливаются между испарителями (шнековыми или чанными) и конденсаторами. Их основное назначение – очистка смеси паров растворителя и воды от частиц шрота.

#### 7.4. Кондиционирование, гранулирование и обогащение шрота

Шрот из испарителей выходит с температурой 100...105 °С, влажностью 6...10 % и содержанием растворителя 0,05...0,2 %.

Для транспортировки и хранения его кондиционируют по температуре, влажности и содержанию растворителя. Шрот на хранение должен иметь температуру не выше 40°С, влажность 7...9 %, содержание растворителя н/б 0,1 %.

Шрот из тостеров кондиционируют только по температуре, из шнековых испарителей – по всем параметрам, из испарителя Белтера – по температуре и содержанию растворителя.

*По температуре* кондиционируют в шротоохладительных колонках и пневмотранспортом. В колонке охлаждение осуществляется наружным воздухом, который подается вентилятором навстречу поступающему сверху шроту. При использовании пневмотранспорта в системе пневмопроводов воздуходувкой создается разрежение, в котором перемещается шрот. На выходе устанавливается расширитель, в котором шрот оседает, а паровоздушная смесь поступает на очистку.

*По влажности* кондиционируют в двухвинтовом шнеке-увлажнителе, можно использовать чанные кондиционеры или любые чанные жаровни.

*По содержанию растворителя* кондиционировать наиболее сложно. При значительном превышении содержания растворителя над допустимыми нормами шрот необходимо повторно направить на стадию отгонки растворителя.

Чтобы увеличить кормовую ценность шрота, его обогащают, используя соапсток и фосфатидную эмульсию. Благодаря этому шрот обогащается липидами, фосфатидами, токоферолами, стеринами. В настоящее время наиболее широко подвергают обогащению подсолнечный и хлопковый шрот.

При обогащении хлопкового шрота, которое осуществляют соапсточными липидами при температуре 80 °С, происходит высвобождение жирных кислот из натриевых солей соапстока низкомолекулярными кислотами хлопкового шрота. Образующаяся щелочь инактивирует госсипол. В результате кормовые достоинства шрота значительно повышаются. Обработку проводят обогатительной смесью, которая содержит воды 60...65 %, общего жира 35...40 %, добиваясь консистенции, удобной для транспортирования. Количество смеси регулируют таким образом, чтобы в готовом шроте содержалось 3,5...4,0 % липидов и 7,0...9,5 % влаги.

Подсолнечный шрот обогащают, в основном, фосфатидной эмульсией при температуре 60 °С. Количество смеси рассчитывают с учетом масличности и влажности исходных продуктов (шрота и эмульсии) и масличности и влажности готового шрота, которые должны составлять 3,0...3,5 % и 9...11 % соответственно.

Обогащение шрота проводят в чанных жаровнях, затем в шнеке-смесителе. Подготовленный таким образом шрот гранулируют в грануляторах ДГ и охлаждают в охладителях ДГ. Охлажденные гранулы отделяют от мелкой крошки на сепараторах и транспортируют на хранение.

Гранулирование проводят, чтобы облегчить транспортировку и хранение продукта, т.к. он не пылит и не слеживается, уменьшается пожаро- и взрывоопасность производства и улучшается санитарная и экологическая обстановка.

Жмыхи и шроты, кондиционированные по температуре и влажности, при определенных условиях могут храниться длительное время без ухудшения качества. Для хранения жмыхов и шротов используются силосные элеваторы, механизированные склады. Хранение допускается в основном насыпью до 5 м высотой. Шрот возможно хранить в мешках на специальных настилах, расположенных на высоте не ниже 10 см от пола.

Контроль при хранении осуществляется по температуре для предотвращения самовозгорания, для шротов – дополнительно контролируют содержание паров растворителя в воздухе хранилищ. Основные условия длительного хранения заключаются в равномерной и оптимальной влажности насыпи, невысокой температуре, низком содержании растворителя.

## 7.5. Обезвреживание шротов некоторых масличных культур

Семена некоторых масличных культур имеют токсичные и антипитательные вещества. Они ухудшают качество шротов и делают их непригодными для кормовых целей. Это семена сои, клещевины, льна, хлопчатника.

Для обезвреживания нежелательных веществ и инактивации ферментов, которые катализируют процессы образования вредных веществ, необходима дополнительная тепловая обработка, которую можно осуществить на разных стадиях технологического процесса: жарения, прессования, обработки шротов.

Для *семян льна*, чтобы инактивировать фермент линазу, который катализирует расщепление глюкозида линамарина с образованием ядовитой синильной кислоты, достаточно влаготепловой обработки мятки, которая проводится в строго определенных режимах.

Для *семян хлопчатника*, которые содержат госсипол, обезвреживание его также происходит на стадии влаготепловой обработки мятки, но не полностью. Окончательно госсипол обезвреживается на стадии отгонки растворителя из шротов при обычных температурных режимах этого процесса.

Более сложно достичь инактивации ферментов и других нежелательных веществ, содержащихся в семенах сои и клещевины.

В *семенах сои* содержится очень активный фермент уреазы, который есть во всех сортах сои. Он разлагает мочевину с образованием аммиака. Использование соевых шротов при приготовлении смешанных кормов с мочевиной вызывает аммиачное отравление. Деятельность уреазы наблюдается при 30...60 °С. Поэтому инактивацию необходимо проводить при температуре около 70 °С. При этой температуре инактивируются также ферменты липаза и липоксидаза, т.к. их максимальная активность наблюдается при температуре 20...40 °С.

Соя содержит антипитательные вещества, которые обладают высокой биоактивностью. Они вызывают торможение и угнетение усвояемости и обмена веществ у животных, могут стать даже токсинами. Это: трипсиновый ингибитор – белок типа глобулинов – легко денатурируется; соин – белок, воздействует на красные кровяные тельца; сапонин – ингибитор роста цыплят.

Инактивация этих компонентов начинается уже при влаготепловой обработке мятки, но она недостаточна. Для завершения процесса используется так называемое тостирование, которое осуществляется в тостерах или чанных кондиционерах. Температура на выходе из тостеров поддерживается 100...105 °С, влажность – 12 %. Увлажнение при этом лучше проводить острым паром. В чанных кондиционерах время обработки составляет 30...40 мин при температуре шрота 105...110 °С и влажности 9...12 %. При этом допол-

нительно удаляется неприятный бобовый запах и горьковатый вкус шрота. Контроль процесса проводят по активности уреазы. По нему судят об инактивации остальных нежелательных веществ. В результате инактивации кормовая ценность соевых шротов повышается на 10...12 %.

Шрот из семян *клещевины* также является ценным кормовым продуктом: масличность 1,34...2,81 %, богат белками, клетчаткой, аминокислотами. Однако кормовые достоинства резко ухудшаются, так как в его состав входят также и токсичные вещества:

- *рицин* – водорастворимая фракция неденатурированного белка клещевины, относится к фитотоксинам, действует на красные кровяные тельца. Ядовит для человека, животных, птиц. Смертельная доза для человека составляет 0,16 г (5...6 штук семян);

- *рицинин* – алкалоид средней токсичности, для человека малоопасен;

- *аллерген СВ-1А* – устойчивая белково-полисахаридная фракция, жаростоек, вызывает аллергический насморк, бронхиальную астму.

Общее содержание в семенах названных токсичных веществ составляет 2,8...3,0 %, с маслом они не извлекаются, а остаются в шроте. Обезвреживаются влаготепловой обработкой в чанных тостерах, установленных дополнительно к используемым для испарения растворителя. Обработываются не менее 1,5...2,0 ч при конечной температуре шрота не ниже 135 °С. Обработка считается законченной, если реакция на риксин будет отрицательна.

#### Контрольные вопросы

1. Биологическая ценность жмыхов и шротов.
2. Какой обработке необходимо подвергать прессовый жмых и шрот перед хранением?
3. Промышленные способы отгонки растворителя из шрота.
4. Цель операций кондиционирования, гранулирования и обогащения шротов.
5. Необходимость обезвреживания шротов некоторых масличных культур.

## 8. РЕГЕНЕРАЦИЯ И РЕКУПЕРАЦИЯ РАСТВОРИТЕЛЯ

Растворитель, применяемый для экстракции масла, используется многократно. Конденсат, полученный после выпаривания из мисцеллы и шрота, представляет высококонцентрированную смесь растворителя и воды. Ее разделение на составляющие компоненты основано на разности плотностей. Отделенный от воды так называемый оборотный растворитель непрерывно воз-

вращается на экстракцию. Этот процесс называется *регенерацией* растворителя. Однако не весь растворитель удается сконденсировать. Часть его испаряется с открытых поверхностей мисцеллы и растворителя в различных аппаратах: водоотделителях, сборниках, емкостях-хранилищах и др. При этом образуется смесь паров растворителя с парами воды и воздухом. Процесс извлечения растворителя из этой смеси концентрацией не более 15...20 об. % называется процессом *рекуперации*, который, по существу, является частным случаем общего процесса его регенерации.

Кроме этих случаев часть растворителя может образовывать стойкие эмульсии с водой, жиром, белками, фосфатидами, углеводами и др. веществами, которые называются *шламом*. Выделение растворителя из шламов происходит с трудом и осуществляется путем выпаривания в так называемых *шламовыпаривателях*.

Правильно организованные процессы регенерации и рекуперации растворителя повышают экономичность производства, улучшают санитарные условия, обеспечивают экологическую безопасность производства.

### 8.1. Основные методы регенерации растворителя

В зависимости от концентрации паров растворителя в воздушно-паровых смесях применяют различные способы улавливания.

При значительных концентрациях паров растворителя в смеси применяется *конденсация охлаждением*, причем при очень высоких концентрациях охлаждение осуществляют водой, при небольших концентрациях для глубокого охлаждения применяют рассол или хладоагенты. В качестве дополнительного метода можно использовать сжатие паровоздушной смеси с одновременным охлаждением.

Конденсация смеси паров растворителя и воды может проводиться двумя способами:

При первом способе используют трубчатые конденсаторы, которые охлаждаются или водой или воздухом, или рассолом, подаваемыми в трубы или межтрубное пространство, а смесь паров – наоборот. Пары отдают скрытую теплоту испарения хладоагенту и конденсируются. В этом случае конденсат не разбавляется хладоагентом.

Во втором способе процесс осуществляют в конденсаторах смешения, где пары непосредственно соприкасаются и смешиваются с хладоагентом, что сопровождается значительным снижением концентрации растворителя.

Оба процесса могут проводиться как при атмосферном давлении, так и под вакуумом.

В трубчатых конденсаторах обычно осуществляется противоток. Пучок труб может располагаться горизонтально или вертикально. Последний вариант предпочтительнее, так как происходит самоочистка конденсатора от песка, ила и других примесей, которые содержатся в охлаждающей воде. В результате улучшается теплообмен. Контролируют процесс по температуре охлаждающей воды на выходе из конденсатора, которая должна быть не выше 35 °С, а температура конденсата – не выше 45 °С. Для дополнительного охлаждения применяется охладитель конденсата, в качестве которого можно использовать также горизонтальный трубчатый теплообменник.

*Рекуперация паров растворителя из смеси с воздухом.*

Для конденсации паров растворителя из паровоздушной смеси используются дефлегмационные установки трех типов:

- охлаждением (при концентрации растворителя в смеси 170...250 г/м<sup>3</sup>);
- на твердых адсорбентах (50...140 г/м<sup>3</sup>);
- на жидких абсорбентах (140...175 г/м<sup>3</sup>).

*Конденсация охлаждением.* Для ее осуществления используются рекуперационные аппараты, которые называются дефлегматорами. Они представляют собой конденсаторы смешения или поверхностные. В качестве охлаждающих агентов применяются вода с температурой 10...12 °С или рассолы – растворы некоторых солей (чаще CaCl<sub>2</sub>), охлажденные до –10...–15 °С.

В отечественном производстве применяют поверхностные дефлегматоры рассольного охлаждения. В процессе работы систематически контролируют поступление рассола, его температуру, сток конденсата (чтобы не замораживался), концентрацию паров растворителя в отходящем воздухе. Для увеличения эффективности рекуперации в схемы включают несколько последовательно установленных дефлегматоров с понижающей температурой хладагента и/или уменьшающимся давлением паро-воздушной смеси.

*Конденсация на адсорбционных рекуперационных установках.* Адсорбция паров происходит за счет образования межмолекулярных связей атомов твердой поверхности адсорбента с молекулами растворителя и продолжается до насыщения адсорбента, когда скорости сорбции и десорбции становятся равными. При этом максимальная величина адсорбированного растворителя определяется свойствами адсорбента, адсорбирующегося вещества и температуры. Чем больше удельная поверхность адсорбента, тем больше растворителя он удерживает. В качестве адсорбента используют вещества с высокой удельной поверхностью, например, активированный уголь (его удельная поверхность 600...1700 м<sup>2</sup>/г).

После насыщения сорбат необходимо регенерировать. Для этого используют два параллельно установленных адсорбера. После насыщения растворителем адсорбента в первом адсорбере воздушно-паровой поток направляется на второй адсорбер, а первый в это время освобождается от адсорбированного растворителя. С этой целью его продувают водяным паром с тем-

пературой 105...110 °С в направлении, обратном прохождению паровоздушной смеси. Смесь водяного пара с растворителем направляется в конденсатор, охлаждаемый водой. Полученный конденсат идет на водоотделитель. Для восстановления адсорбционной активности угля он обрабатывается горячим воздухом, нагнетаемым через калорифер вентилятором.

*Рекуперация растворителя из паровоздушной смеси на жидких масляных абсорбентах.* Сущность процесса абсорбции заключается в растворении паров растворителя в жидких минеральных углеводородных продуктах, которые выступают в качестве абсорбентов. При этом абсорбент должен отвечать определенным требованиям: а) не взаимодействовать с растворителем химически; б) иметь высокую поглотительную способность; в) быть устойчивым; г) легко отдавать растворитель при десорбции; д) не корродировать аппаратуру; е) не загрязнять своими компонентами растворитель.

Наиболее подходящими по этим характеристикам являются абсорбенты, получаемые при переработке нефти – вазелиновые и веретенные масла. Так как количество поглощенного растворителя пропорционально площади соприкосновения фаз, важно обеспечить максимальный контакт паровоздушной смеси с жидким поглотителем. С этой целью в абсорбционных установках паровоздушную смесь пропускают через башню с насадкой, которая орошается абсорбентом, образуя на насадке тонкую пленку, или абсорбент разбрызгивают в замкнутом пространстве, через которое пропускают поток паровоздушной смеси.

Для освобождения насыщенного абсорбента от растворителя используют десорберы, имеющие то же устройство, что и абсорберы. Они отличаются тем, что дополнительно снабжены паровой рубашкой и устройством для подачи острого пара в нижнюю часть десорбера. При этом масло нагревается, растворитель отгоняется. Затем смесь водяного пара с растворителем направляется на конденсацию, а абсорбент возвращается в абсорбционную колонку. В абсорбере поглощается до 5 % растворителя к массе абсорбента. Остаточное содержание растворителя в абсорбенте не должно превышать 0,5 %.

*Разделение жидкой смеси растворителя и воды.* Вода и экстракционный растворитель – несмешивающиеся жидкости с разной плотностью, поэтому их разделение производится методом отстаивания. Для этого применяют простые по конструкции аппараты с наклонным днищем, называемые *водоотделителями*. В цикле используют два аппарата – предварительный водоотделитель и контрольный. В результате отстаивания и расслаивания образуются слои: сверху – растворитель, ниже – вода, между ними слой эмульсии растворитель в воде, внизу – шлам, который скользит по наклонному днищу к выходу из аппарата. Растворитель сливается в сборники оборотного растворителя через сифонную трубу, а вода – на второй контрольный водоотделитель. Эмульсия направляется на шламовыпариватель. Содер-

жание бензина в воде, отходящей от водоотделителя, не должно превышать 0,1 %.

## 8.2. Потери растворителя в маслоэкстракционном производстве

Полной регенерации растворителя на маслоэкстракционных заводах существующими методами достичь не удастся. Его потери, отнесенные к массе перерабатываемого сырья, составляют 0,3...1,5 % на тонну и называются общими или безвозвратными. Их величина зависит от вида масличного сырья, технологии извлечения масла и очень велика по абсолютному значению. Так, маслоэкстракционные заводы, перерабатывающие в сутки 800...1000 тонн семян, теряют до 3...5 тонн растворителя.

Основные источники потерь растворителя следующие:

- утечки растворителя в жидком или газообразном состоянии через неплотности аппаратуры. Как правило, потери растворителя в жидком состоянии практически исключены. Однако потери растворителя неизбежны в газообразном состоянии в аппаратах, где имеются вращающиеся части, в том числе в насосах, работающих под давлением. Даже при надлежащем содержании сальников количество бензина в воздухе около насосов в цехе доходит до 0,5 мг/л (допустимое значение 0,3 мг/л). Особенно велики потери через сальники в шнековых испарителях, работающих под давлением;
- потери с водой из-за растворимости растворителя в ней. В основном они наблюдаются в водоотделителях и шламовеяпаривателях. Много растворителя содержится в эмульсиях. Из водоотделителя с водой и эмульсией отходит 0,18...0,28 % растворителя. Поэтому необходима их дополнительная дальнейшая обработка в шламовеяпаривателях;
- потери со шротом, маслом, промышленными стоками. В шроте допустимое содержание растворителя составляет 0,05...0,2 %, минимальное содержание в масле – 0,01 %. При больших объемах производства абсолютные значения потерь этого вида будут значительны;
- потери с воздухом, выбрасываемым в атмосферу из-за неполной конденсации в процессе рекуперации из дефлегматоров и адсорберов.

### Контрольные вопросы

1. Необходимость и сущность процессов регенерации и рекуперации растворителей.
2. Какие основные методы используются для регенерации растворителя?
3. Основные источники потерь растворителя в маслоэкстракционном производстве.
4. Способы и пути снижения потерь растворителя при получении растительных масел экстракцией.

## 9. ОЧИСТКА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ НА ПРЕССОВЫХ И ЭКСТРАКЦИОННЫХ ЗАВОДАХ

В сырых маслах всегда содержатся разнообразные примеси, которые затрудняют переработку масла и снижают его качество. Очистка масла от сопутствующих веществ называется *рафинацией*.

При проведении рафинации необходимо не только удалить нежелательные примеси, но по возможности сохранить все ценные компоненты масла, не допуская разложения и потерь.

### 9.1. Примеси и вещества, сопутствующие маслам

*Механические примеси.* Механические примеси представляют в основном частицы мезги и жмыха. Первые – мелкие, они выносятся потоком масла через зерные щели прессов, более крупные выдавливаются через щели при продвижении прессуемого материала в зере. Величина этих частиц колеблется от 2...4 мкм до нескольких миллиметров, а количество по отношению к маслу – от 2 до 10 %. Плотность этих частиц 1100...1400 кг/м<sup>3</sup>, то есть они тяжелее воды.

Присутствие механических примесей в масле приводит к его окислению, ферментативному гидролизу и другим нежелательным процессам. Причем протеканию нежелательных процессов способствует высокоразвитая поверхность твердых частиц и наличие в порах влаги и воздуха.

Примеси белкового происхождения при высоких температурах масла (на разных стадиях переработки) вызывают сахаро-аминную реакцию, денатурацию белков, образование липопротеинных комплексов и т.д. Поэтому важна быстрая очистка масла от этих примесей после его получения.

*Вещества, сопутствующие маслам.* Их условно подразделяют на две группы:

- 1 группа – содержащиеся в семенах и переходящие в масло практически неизменными;
- 2 группа – содержащиеся в семенах и изменившиеся в процессе хранения и извлечения масла, а также образовавшиеся из различных веществ под воздействием внешних факторов.

К первой группе относятся липиды сложного состава (в т.ч. фосфорсодержащие), воски, красящие вещества, свободные жирные кислоты, высокомолекулярные спирты и др.

Вторая группа включает продукты окисления глицеридов: низкомолекулярные жирные кислоты, кетоны, альдегиды, оксикислоты и т.д.

Из всех этих веществ наиболее важны фосфорсодержащие липиды: глицерофосфатиды и инозитолфосфатиды. Последние содержатся в не-

больших количествах, их влияние на качество масла не установлено. Глицерофосфатиды являются производными фосфатидных кислот. Наиболее широко распространены фосфатидилхолины и фосфатидилэтаноламины, а также фосфатидные кислоты в свободной форме или в виде соединений с другими веществами семян. Локализованы фосфатиды главным образом в гелевой части семян. Их содержание в масле зависит от содержания в семенах, а также от режимов и способа извлечения масла.

Фосфатиды являются поверхностно-активными веществами и способствуют образованию стойких эмульсий, что отрицательно сказывается при переработке масла. В присутствии воды фосфатиды теряют растворимость в воде, на чем основано их отделение от масла путем гидратации. Такие фосфатиды носят название гидратируемых. Есть и негидратируемые фосфатиды. При высоких температурах фосфатиды могут реагировать с углеводами, образуя меланофосфатиды – темноокрашенные соединения, которые ухудшают цвет масла и фосфатидного концентрата.

Так как фосфатиды являются физиологически ценными веществами (снижают уровень холестерина в крови, повышают использование организмом жира, входят в состав клеточных мембран и т.д.), то важной задачей комплексной переработки масел является извлечение фосфатидов в неизменном состоянии.

*Воскоподобные вещества.* Представляют сложные смеси с преобладающим содержанием эфиров высокомолекулярных одноатомных спиртов и жирных кислот, а также высокомолекулярных свободных жирных кислот и спиртов, углеводов, стеролов, стеринов, лактонов, эстолидов. Температура плавления насыщенных воскоподобных веществ находится в интервале 32...98 °С. Они растворяются в масле при температуре его получения. При уменьшении температуры теряют растворимость и выделяются в виде мелкой взвеси, образующей неоседающую муть. Поэтому их необходимо удалять.

*Свободные жирные кислоты (СЖК).* Их количество зависит от степени зрелости масличных семян, их дефектности, способа измельчения. В зрелых семенах содержится от 0,3 до 1,0 % СЖК, в испорченных – от 2 до 20 %, иногда больше. Это физиологически неценный продукт. Удаляют их щелочной нейтрализацией в процессе рафинации масел.

*Пигменты.* Находятся в семенах и окрашивают масло в процессе его извлечения. Чаще всего встречаются каротины и ксантофиллы. Они хорошо растворяются в экстракционных растворителях, поэтому содержание их в экстракционном масле больше, чем в прессовом. Каротины – витамины А, содержатся в виде  $\alpha$ - и  $\beta$ -каротинов в пальмовом, льняном, хлопковом, соевом, подсолнечном, кукурузном маслах,  $\gamma$ -каротины содержатся в небольших количествах или отсутствуют. В соевом масле присутствуют ксантофиллы (лютеин). Зеленая окраска конопляного, рапсового

го, рисового, соевого, пальмового масел объясняется присутствием хлорофилла. Много хлорофилла в масле из недозревшей сои. Удаляются красящие вещества адсорбцией.

В хлопковом масле содержится госсипол, который хорошо растворяется в масле, бензинах, придает окраску маслу почти до черного цвета. Реакционноспособен, при хранении нерафинированных масел взаимодействует с фосфатидами, сахаром и другими веществами. Плохо удаляется щелочной рафинацией.

*Стеролы, токоферолы.* Содержатся в маслах в небольших количествах, не оказывают существенного влияния на процесс очистки.

*Носители запаха, вкуса, ядохимикаты.* Удаляются на последней стадии рафинации – дезодорации.

## 9.2. Технология первичной очистки растительных масел

Первичная очистка проводится непосредственно после извлечения масла без значительного разрыва во времени.

Растительные масла, полученные в прессовом цехе, подвергаются первичной очистке в два приема: сначала от крупных частиц на механизированной гущеловушке или вибрационном классификаторе, затем последующее более тщательное отделение мелких взвешенных частиц на фильтрах различной конструкции. Экстракционные масла очищают только фильтрацией. После такой очистки масла подвергают гидратации с целью выделения из них фосфатидов.

Для очистки масел используют гидромеханические процессы: отстаивание, центрифугирование, фильтрация.

*Отстаивание.* Это процесс разделения фаз различной плотности под действием силы тяжести. Оседание частиц затрудняется из-за высокой вязкости масла. Процесс отстаивания можно ускорить снижением вязкости масла за счет повышения температуры. Верхний температурный предел ограничен растворимостью в горячем масле некоторых взвешенных веществ, которые после охлаждения вновь выпадают в осадок.

Для реализации процесса отстаивания в производстве используют одинарные и двойные гущеловушки (рис. 41).

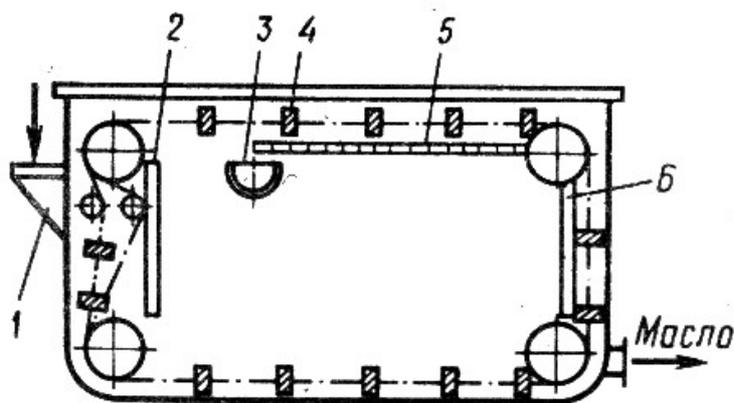


Рис. 41. Схема устройства одинарной гущеловушки

Масло с механическими примесями поступает в карман 1, заполняет объем гущеловушки и отстаивается. Механические примеси подхватываются со дна гущеловушки скребковым транспортером 4 и поднимаются на сетчатую решетку 5, на которой сливаются остатки масла, а отстой выгружается шнеком 3. Для предотвращения повторного попадания твердых частиц в отстаивающееся масло служат боковые перегородки 2, 6.

Двойные гущеловушки содержат две секции: одна – для предварительного, вторая – для окончательного отстаивания. Они также снабжены системой скребков, расположенных по вертикальному периметру и обеспечивающих удаление примесей, осевших на дно и их фильтрацию на сите для частичного обезжиривания гущи.

В вибрационных гущеулавливателях на  $\frac{1}{2}$  высоты устанавливается металлическая сетка, на которую передается вибрация в направлении, перпендикулярном действию сил гравитации. Виброкипящий слой высококонцентрированной суспензии ниже сетки образует своеобразный фильтрующий слой, задерживающий механические примеси. Грязное масло подается вниз ловушки, отстаивающееся – сливается вверху. Содержание примесей до очистки 2...2,5 %, после – 0,6...0,9 %. В современных схемах очистки применяют отстойники непрерывного действия, в которых процесс интенсифицирован в результате осаждения частиц в тонком слое (30...50 мм).

*Фильтрация.* Для фильтрования широко используют фильтр-прессы, дисковые самоочищающиеся фильтры. В качестве фильтрующих перегородок используют бельтинг, миткаль, лавсан, капрон, мелкую металлическую сетку. Образующийся при фильтровании слой осадка (фосфатиды, белки, слизи) вначале тоже выполняет функцию фильтрующей перегородки. Но со временем осадок сжимается и уплотняется, и фильтрация затрудняется. Фильтровальную перегородку необходимо чистить и весьма часто. Для увеличения продолжительности работы фильтра в масло добавляют

некоторое количество природных дренажных материалов, например, глины, которые образуют несжимаемый осадок и увеличивают фильтрующую поверхность. Однако при этом увеличиваются потери масла. Фильтрацию проводят при постоянном давлении или постоянной скорости и увеличиваемом давлении. Отстой масла после фильтрации снижается до 0,05 %.

*Центрифугирование.* Используется на стадии тонкой очистки масел и является наиболее эффективным способом для удаления мелких взвешенных частиц. Основным оборудованием являются центрифуги, называемые также сепараторами. Характеристикой оборудования служит фактор разделения  $K_p$ :

$$K_p = r \cdot \omega^2 / 900,$$

где  $r$  – радиус вращения ротора,  $\omega$  – частота вращения.

Разделяющее действие оборудования возрастает пропорционально росту  $K_p$ . На заводах используют нормальные центрифуги (сепараторы) с  $K_p < 3500$  (для отделения грубых частиц и несмешивающихся жидкостей) и сверхцентрифуги ( $K_p > 3500$ ) – для тонких дисперсий (эмульсий и суспензий).

Различают разделяющие центрифуги (для отделения воды от масла) и осветляющие (для удаления механических примесей).

Технологические схемы первичной очистки масла различаются по количеству ступеней и используемому оборудованию, например:

схема 1 (двухступенчатая): двойная гуцеловушка – фильтр-пресс;

схема 2 (двухступенчатая): виброловушка – дисковый фильтр;

схема 3 (трехступенчатая): двойная гуцеловушка – центрифуга – фильтр (рис. 42).

Осадок, получаемый в результате первичной очистки прессового масла на гуцеловушках, центрифугах и фильтрах, направляется в жаровни, где смешивается со свежей мяткой.

Растительное масло сразу после получения должно быть охлаждено до температуры н/б 60 °С. Это необходимо для предотвращения окислительных процессов, возможных при соприкосновении горячего масла с кислородом воздуха.

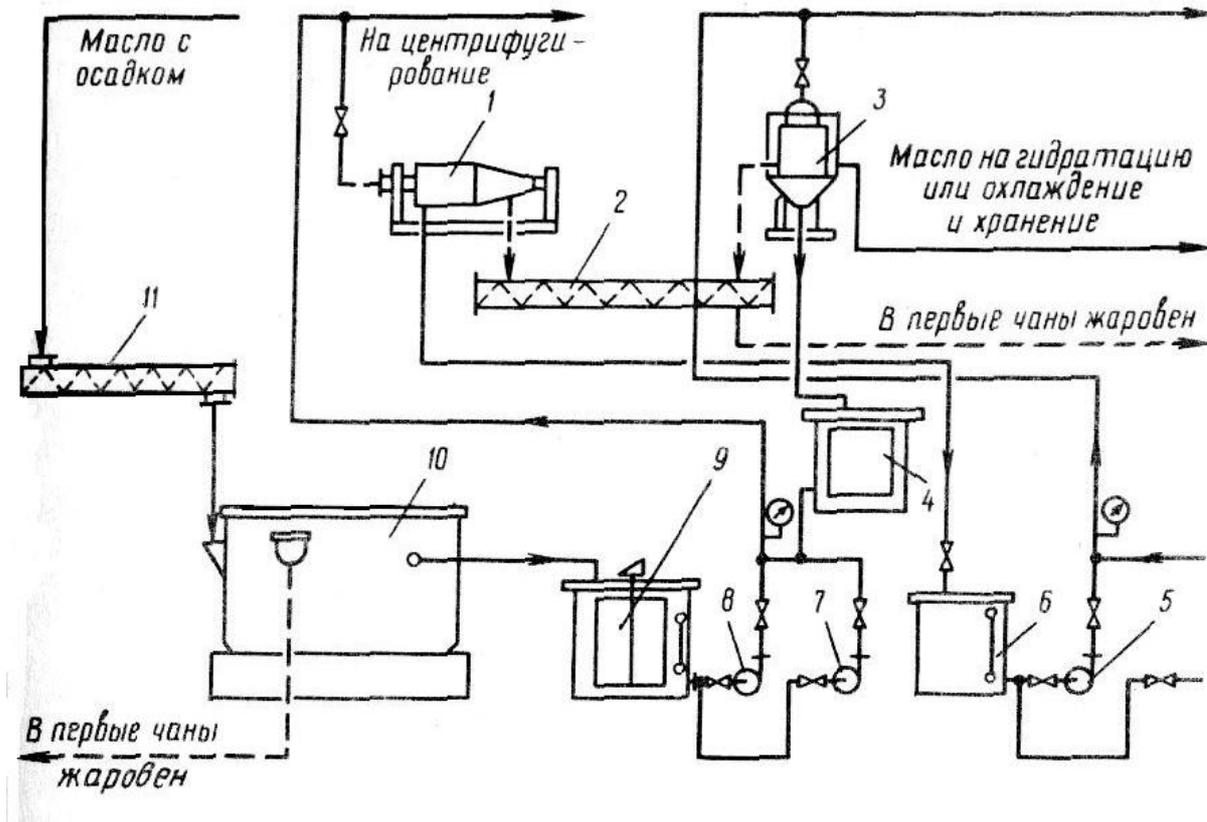


Рис. 42. Схема первичной очистки прессового масла:

1 - центрифуга НОГШ – 325; 2 – шнек для осадка; 3 – фильтр ФГДС; 4, 6, 9 – баки для масла; 5, 7, 8 – насосы; 10 – гущеловушка; 11 – маслосборный шнек

### Контрольные вопросы

1. Характеристика примесей, присутствующих в сырых растительных маслах.
2. В чем заключается первичная очистка масел?
3. Какие схемы существуют для первичной очистки растительных масел?
4. Какое оборудование используется на стадии первичной очистки растительных масел?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология производства растительных масел: Учеб. для ВУЗов по спец. «Технология жиров» /Под ред. В.М. Копейковского. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982.- 415с.
2. Щербаков В.Г. Технология получения растительных масел. – М.: Колос, 1992. – 206с.
3. Калошин Ю.А. Технология и оборудование масложировых предприятий. – М.: ИРПО: Издательский центр «Академия», 2002. – 363 с.
4. Кошевой Е.П. Технологическое оборудование предприятий производства растительных масел: Учеб. пособие для ВУЗов по спец. «Технология жиров, эфирных масел и парф.-косм. прод.» - СПб.: ГИОРД.- 2001.- 368с.

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Основные методы и технологические схемы производства растительных масел .....        | 3  |
| 1. Хранение, очистка и сушка масличного сырья.....                                   | 6  |
| 1.1. Приемка масличного сырья .....  | 6  |
| 1.2. Хранение масличного материала.....  | 7  |
| 1.3. Очистка масличных семян от примесей.....  | 17 |
| 2. Кондиционирование масличных семян по влажности (сушка).....                       | 26 |
| 2.1. Теоретические основы сушки.....   | 26 |
| 2.2. Зависимость параметров процесса сушки от свойств масличных семян.....           | 28 |
| 2.3. Основные способы и технологические режимы сушки.....                            | 29 |
| 2.4. Изменение физиолого-биохимических свойств семян и качества масла при сушке..... | 32 |
| 2.5. Технология и техника сушки.....   | 34 |
| 3. Подготовительные операции при переработке масличного сырья.....                   | 38 |
| 3.1. Целесообразность отделения оболочек от ядра.....                                | 38 |
| 3.2. Свойства оболочек масличных семян и выбор метода обрушивания.....               | 40 |
| 3.3. Техника обрушивания семян.....  | 42 |
| 3.4. Современные методы обрушивания семян .....                                      | 44 |
| 3.5. Сепарирование рушанки.....  | 45 |
| 3.6. Измельчение масличных семян, ядра и продуктов их переработки.....               | 48 |
| 4. Приготовление мезги и извлечение масла прессованием.....                          | 54 |
| 4.1. Приготовление мезги.....  | 54 |
| 4.2. Извлечение масла прессованием.....  | 61 |
| 5. Получение растительных масел методом экстракции.....                              | 71 |
| 5.1. Растворители для растительных масел.....  | 71 |
| 5.2. Растворимость растительных масел в органических растворителях.....              | 72 |
| 5.3. Характеристика растворителей, используемых в промышленности.....                | 75 |
| 5.4. Хранение растворителей и подготовка их перед экстракцией....                    | 77 |
| 5.5. Экстракция масла из масличного сырья.....                                       | 77 |
| 6. Переработка мисцеллы.....   | 94 |
| 6.1. Очистка мисцеллы от твердых примесей.....                                       | 94 |

|   |     |
|---|-----|
| 6.2. Дистилляция мисцеллы.....  | 95  |
| 7. Обработка и хранение жмыхов и шротов.....                          | 102 |
| 7.1. Обработка прессового жмыха перед хранением.....                  | 103 |
| 7.2. Отгонка растворителя из шрота.....                               | 104 |
| 7.3. Промышленные способы отгонки.....                                | 104 |
| 7.4. Кондиционирование, гранулирование и обогащение шрота.....        | 108 |
| 7.5. Обезвреживание шротов некоторых масличных культур.....           | 110 |
| 8. Регенерация и рекуперация растворителя.....                        | 111 |
| 8.1. Основные методы регенерации растворителя.....                    | 112 |
| 8.2. Потери растворителя в маслоэкстракционном производстве.....      | 115 |
| 9. Очистка растительных масел на прессовых и экстракционных заводах.. | 116 |
| 9.1. Примеси и вещества, сопутствующие маслам.....                    | 116 |
| 9.2. Технология первичной очистки растительных масел.....             | 118 |
| Список рекомендуемой литературы.....                                  | 122 |

Акаева Татьяна Карповна  
Петрова Светлана Николаевна

ОСНОВЫ ХИМИИ И ТЕХНОЛОГИИ  
ПОЛУЧЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ЖИРОВ

Часть 1

Технология получения растительных масел  
Учебное пособие

*Редактор О.А. Соловьева*

Подписано в печать 15.12.2006. Формат 60x84 1/16. Бумага писчая.

Усл. печ. л. 7,21. Уч.-изд. л. 8,00. Тираж 100 экз. Заказ  
ГОУВПО Ивановский государственный химико-технологический университет  
Отпечатано на полиграфическом оборудовании кафедры экономики и финансов  
ГОУ ВПО «ИГХТУ»  
153000, г. Иваново, пр. Ф. Энгельса, 7.