

Е. П. Кошевой

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОИЗВОДСТВА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

Допущено Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальностям «Машины и аппараты пищевых производств»
и «Пищевая инженерия малых предприятий» направления подготовки
дипломированных специалистов «*Пищевая инженерия*» и специальности
«Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов»
направления подготовки дипломированных специалистов
«*Производство продуктов питания из растительного сырья*»



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ • ГИОРД • 2002

УДК 664.3.032
ББК 36.81-5
К76

Научный редактор: д.т.н., проф. Белобородов (ВНИИЖ)

Рецензенты: доктор технических наук, профессор, директор Северо-Кавказского филиала ВНИИЖ Быкова С. Ф.;
доктор технических наук, профессор, проректор СПбГУНиПТ Сабуров А. Г.;

Кошевой Е. П.

К76 Технологическое оборудование предприятий производства растительных масел. — СПб: ГИОРД, 2001. — 368 с.

ISBN 5-901065-44-1

В книге рассмотрены теория и методы расчета, принципы работы, устройство и правила эксплуатации оборудования сырьевого, ружально-вечного, прессового и экстракционного цехов производства растительных масел, а также маслозаводов малой мощности.

Для студентов вузов, аспирантов, научных и инженерно-технических работников маслодобывающей промышленности, проектных и конструкторских организаций.

УДК 664.3.032
ББК 36.81-5

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	9
ВВЕДЕНИЕ	11
Краткие сведения о производстве растительных масел в России	11
Этапы развития техники и технологии	13
Современные требования к технологическому оборудованию	14
Классификация технологического оборудования	17
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. ОБОРУДОВАНИЕ СЫРЬЕВОГО ОТДЕЛЕНИЯ И ВНУТРИЗАВОДСКОЙ ТРАНСПОРТ	19
Сырьевой участок производства	19
Внутризаводское транспортное оборудование	25
Вопросы расчета внутризаводского транспортного оборудования	31
Ленточные транспортеры	31
Скребковые транспортеры	33
Винтовые транспортеры	34
Нории (ковшовые элеваторы)	35
Пневмотранспорт	37
Свойства масличных семян как объекта сушки и очистки	39
Размеры и форма семян	40
Коэффициенты трения	41
Аэродинамические свойства семян	43
Гигроскопические свойства семян	48
Теплофизические свойства семян	50
Глава 1. Конструкции сушилок и методы их расчета	51
Барabanная сушилка	52
Шахтные сушилки	62
Рециркуляционные сушилки	69
Сушилки кипящего слоя	78
Контрольные вопросы	83
Задания	83

Глава 2. Машины для очистки масличных семян	84
Теоретические вопросы ситового сепарирования	85
Теоретические вопросы пневмосепарирования	94
Сепараторы для семян подсолнечника	97
Сепаратор ЗСМ	98
Барсбанный сепаратор А1-БЗО (скальператор)	106
Сепараторы А1-БИС-12, А1-БИС-100 и А1-БЛС-100	108
Виброцентробежный сепаратор А1-БЦС-100	110
Камнеотборник РЗ-БКТ100	117
Машины для очистки хлопковых семян	118
Ситовый сепаратор МХС	119
Аспирационный семячиститель УСМ	120
Контрольные вопросы	123
Задания	123

ЧАСТЬ ВТОРАЯ. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СЕМЯН К ПОЛУЧЕНИЮ МАСЛА 124

Глава 3. Машины для обрушивания масличных семян	127
Свойства масличных семян как объекта обрушивания	127
Бичевая семенорушка	129
Способ центробежного обрушивания	136
Центробежная семенорушка А1-МЦП	140
Дисковый шелушитель	146
Контрольные вопросы	150
Задания	150
Глава 4. Машины для разделения рушанки	152
Аспирационная семеновейка М2С-50	153
Машина семеновейчная Р1-МС-2Т	159
Вопросы теории и расчета семеновейки	161
Теория послыонного движения сыпучего материала и стесненного просеивания	162
Теория движения частиц в наклонном воздушном потоке	169
Машины для разделения хлопковой рушанки	173
Сепаратор МХС	173
Биттер-сепаратор	174
Контрольные вопросы	176
Глава 5. Машины для измельчения семян и ядра	177
Вопросы теории и расчета вальцовых станков	177
Вальцовый станок ВС-5	181
Вальцовый станок Б6-МВА	186
Контрольные вопросы	187

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАСЛА ПРЕССОВАНИЕМ 188

Глава 6. Аппараты для влаготепловой обработки мятки ...	189
Инактиватор	189
Чанная жаровня	194
Основы расчета аппаратов (жаровен)	199
Контрольные вопросы	210
Задания	210
Глава 7. Машины для извлечения масла путем прессования	211
Маслопресс ФП	212
Маслопресс МП-68	217
Маслопресс ЕТП-20	219
Маслопресс РЗ-МОА	221
Обслуживание маслопрессов	226
Вопросы теории и расчета шнековых прессов	227
Контрольные вопросы	238
Глава 8. Оборудование для обработки продуктов прессования (масла и жмыха)	239
Оборудование для очистки прессового масла	239
Схема и аппараты для первичной очистки прессового масла	239
Двойная механическая гущеловушка	240
Дисковый механизированный фильтр ФГДС	242
Центрифуга НОШ-325	244
Оборудование для подготовки жмыха к экстракции	246
Молотковая дробилка типа ДДМ	247
Барабанный калибровочный сепаратор	249
Двухпарный плющильный вальцовый станок ФВ-600	251
Плющильный вальцовый станок ФВ-801К	253
Контрольные вопросы	254

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАСЛА ЭКСТРАКЦИЕЙ 255

Схема экстракционного участка	255
Свойства масличных и вспомогательных материалов	257
Глава 9. Аппараты для экстракции масла	261
Экстрактор вертикальный шнековый НД-1250	262
Ленточный экстрактор МЭЗ-350	269
Карусельные экстракторы	274

Вопросы теории и расчета экстракторов	278
Контрольные вопросы	286
Глава 10. Аппараты для дистилляции мисцеллы	287
Дистилляционные аппараты экстракционной линии НД-1250	288
Дистилляционные аппараты экстракционной линии МЭЗ-350	291
Материальный и тепловой расчет дистилляционных установок	298
Контрольные вопросы	310
Задания	311
Глава 11. Аппараты для обработки шрота	312
Шнековые испарители в линии НД-1250 и МЭЗ	312
Десятичанный тостер фирмы СКЕТ	318
Вопросы теории и расчета испарителей шрота	321
Контрольные вопросы	324
Глава 12. Вспомогательное оборудование	
экстракционного цеха	325
Оборудование для очистки мисцеллы	325
Емкостное оборудование для промежуточного хранения, промывки мисцеллы и водоотделения	329
Оборудование для очистки паробензиновых смесей, полученных при отгонке растворителя из шрота	334
Оборудование для подогрева растворителя (мисцеллы) и конденсации смеси паров растворителя и воды	339
Оборудование для рекуперации паров растворителей из смесей их с воздухом	342
Контрольные вопросы	345
ЧАСТЬ ПЯТАЯ. ТЕХНИКА МАСЛОЗАВОДОВ МАЛОЙ	
МОЩНОСТИ	346
<i>Особенности и требования к технике для маслозаводов</i> <i>малой мощности</i>	<i>346</i>
Комплекты оборудования	347
Отдельные виды оборудования	353
Контрольные вопросы	364
Литература	365

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая книга написана в соответствии с программой курса «Технологическое оборудование пищевых производств» для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Машины и аппараты пищевых производств» и «Пищевая инженерия малых предприятий» направления подготовки дипломированных специалистов «Пищевая инженерия» и специальности «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов» направления подготовки дипломированных специалистов «Производство продуктов питания из растительного сырья».

Издание содержит сведения об основных машинах и аппаратах производства растительных масел, используемых на предприятиях различных масштабов (включая распространившиеся в последнее время малые производства). Знание устройства и работы технологического оборудования, а также вопросов его теории и расчетов, позволит студентам освоить основы разработки совершенных конструкций, грамотного обслуживания и эксплуатации рассматриваемых видов оборудования.

Описание технологического оборудования расположено по технологическому признаку в соответствии с общепринятой классификацией оборудования отрасли для выполнения определенных технологических операций обработки масличных семян и полуфабрикатов: сушки, очистки, обрушивания семян, разделения рушанки*, измельчения ядра*, тепловлагообменной обработки мятки*, прессования мезги*, первичной очистки прессового масла, кондиционирования и формования жмыха* перед экстракцией, экстракцией, дистилляции мисцеллы*, тепловой обработки шрота, рекуперации воздушно-бензиновых смесей. В отдельную часть, ввиду его специфики, выделено описание оборудования маслозаводов малой мощности.

* Специфические термины в производстве растительных масел для обозначения различных полупродуктов, получаемых при переработке масличного сырья. В соответствующих разделах книги будут даны определения этих терминов.

Целью изучения данной дисциплины является обучение и последующая подготовка студентов к производственной деятельности, связанной с созданием машин и аппаратов производства растительных масел, а также решением инженерных задач по монтажу, наладке и обслуживанию оборудования.

Перед студентами, изучающими данную дисциплину, стоят следующие основные задачи:

– изучение классификации, принципиальных схем основных типов технологического оборудования, особенностей его эксплуатации и перспектив совершенствования;

– усвоение основ теории работы технологического оборудования производства растительных масел и методов расчета его основных параметров;

– освоение управления работой технологического оборудования, выполнения основных расчетов, организация наладки и эксплуатации оборудования и др.

Необходимость издания подобной книги обусловлена отсутствием современных учебников, в которых был бы систематизирован материал по оборудованию производства растительных масел. Вместе с тем, в связи с быстрым ростом производства растительных масел, особенно малых производств, потребность в такой книге очевидна.

Учебник состоит из пяти частей (двенадцати глав), в которых приводится описание основных машинно-аппаратурных схем и оборудования.

ВВЕДЕНИЕ

Цель курса — изучение устройства и работы применяемых, а также перспективных в производстве растительных масел видов технологического оборудования.

Задачи курса: 1) ознакомить с основными теоретическими положениями, на которых базируется работа соответствующего оборудования; 2) дать сведения по техническим и эксплуатационным характеристикам технологического оборудования; 3) привести основные методики расчета.

Краткие сведения о производстве растительных масел в России

Пищевая и перерабатывающая промышленность — одно из приоритетных направлений экономики России. На долю масложировой промышленности приходится примерно 15% всей продукции пищевой промышленности, а также 3% основных производственных фондов и около 6% численности работающих.

Основной подотраслью масложировой промышленности является маслособывающая, которая осуществляет производство растительных масел. Дополнительная продукция получается из обезжиренных семян — белки кормовые (шроты) и белки пищевого назначения (изоляты и концентраты). Все остальные подотрасли масложировой промышленности (мыловаренная, маргариновая, гидрогенизационная и др.) занимаются переработкой полученного масла (выпуская мыла и моющие средства, жирные кислоты и глицерин, маргарин, кулинарный жир, майонез и др.).

Основной вид масличного сырья — семена сои (в 1998—99 гг. всего произведено 158,7 млн т сои — это 53% от общего производства масличных семян, мировое производство семян подсолнечника составило

27,1 млн т, т.е. 9%). В Европе широко распространены семена рапса. В тропических районах мира много производят оливкового и пальмового масла.

Россия с давних времен (уже в XIV в.) занимала ведущее место в Европе по производству растительного масляного сырья (прежде всего прядильно-масличные культуры — лен, конопля). Петр I запрещал вывоз сырья и требовал расширять переработку, а Екатерина II, наоборот, разрешила вывоз сырья, что привело к упадку производства масла. Подсолнечник был завезен в Европу из Южной Америки и Мексики в XVI в. и долго культивировался как декоративное растение. Подсолнечные семена начали перерабатываться на масло в России более 170 лет назад (1829 г.) в селе Алексеевка Воронежской губернии. Работами академиков В. С. Пустовойта, Л. А. Жданова и др. осуществлена селекция семян подсолнечника на высокую маслячность и в результате средняя маслячность семян подсолнечника увеличилась с 28,5% в 1940 г. до 47% в 1975 г.; в последующем маслячность семян подсолнечника стабилизировалась на этом уровне. С учетом увеличения урожайности это привело к росту производства масла (с 1 га посевов) — с 211 кг (1940 г.) до 625 кг (1975 г.). При этом достигнут уровень производства растительных масел в стране — 3,5 млн т в год.

В последующие годы с учетом расширения площадей была достигнута самая высокая урожайность в мире (8 млн т в год), и семена подсолнечника считались русской масляной культурой (но в настоящее время ведущее место по производству семян подсолнечника заняли Аргентина, страны ЕС и др.).

Производство растительных масел в дореволюционной России было полукустарным и раздробленным (к моменту национализации по РСФСР было 12 800 маслозаводов, 377 наиболее крупных вырабатывали свыше 50% всего масла); затем началось укрупнение и реконструкция действующих заводов и строительство новых. В 1928 г. вступил в строй первый в стране маслоэкстракционный завод (МЭЗ) в Кропоткине; в Краснодаре МЭЗ пущен в 1936 г. Всего до войны построено 31 предприятие. В годы Великой Отечественной войны заводы на оккупированной территории были разрушены, и в 1945 г. выработка масла в стране упала почти в 3 раза по сравнению с 1940 г. Восстановление промышленности сопровождалось техническим перевооружением (перевод на непрерывно действующие шнековые прессы и внедрение непрерывной экстракции). К 1975 г. удельный вес экстракционного метода производства вырос до 85,5%, а производство масла по сравнению с довоенным выросло в 4 раза.

По состоянию на 01.01.96 г. растительные масла в России производятся на 43 высокопроизводительных предприятиях, где перерабатыва-

ется более 85% всего масличного сырья, а остальное сырье — в цехах малой мощности местного значения (их свыше 1000).

Этапы развития техники и технологии

Культивирование масличных растений и получение из них растительных масел восходит к древнейшему периоду развития человечества. Египтяне в долине Нила около 2 тыс. лет до н. э. разводили лен для выработки из него волокна и получения масла. В глубокой древности для извлечения масла из масличного сырья применяли камни и чаши. Для получения оливкового и пальмового масла из плодов требовалось очень малое внешнее давление. В III—II вв. до н. э. появились оливковый пресс и оливковый бегун (для измельчения). Рычажный пресс приводился в действие грузом. На Руси аналогичные устройства имели винтовой привод рычага.

Для переработки масличных материалов, требующих для отжима масла больших давлений и содержащих меньше масла, потребовалась более совершенная техника. Около 1600 г. в Европе появились клиновые прессы (клинья забивали, отсюда термин «маслобойное» производство). В 1750 г. изобретен вальцовый станок. В 1795 г. в Англии изобретен гидравлический пресс с ручным приводом, и в 1818 г. он был использован в производстве растительных масел с подготовкой материала на огневых жаровнях, а в 1830 г. — с паровой жаровней. В 1819 г. появился гидравлический насос и в 1843 г. гидравлический грузовой аккумулятор для сглаживания толчков напорной жидкости.

Вспомогательное оборудование — вальцы, гидронасосы, аккумуляторы, жаровни и пр. — мало изменялись в следующее столетие, в то время как основное оборудование — пресса — менялись существенно. В 1880 г. в США стали применять этажные прессы. В 1932 г. появились закрытые зерные прессы.

Все виды гидравлических прессов имели много недостатков: периодичность действия; большой расход прессового сукна; сложность гидравлической напорной системы; большие потери масла со жмыхом; антисанитария; тяжелые условия труда.

Непрерывно действующие прессы со шнековым рабочим органом разработаны в начале века Андерсоном. Принцип действия и основные узлы прессы сохранены и в современных конструкциях. В СССР выпуск шнековых прессов освоен в 1930 г. Основной недостаток прессового способа производства растительных масел — высокая масличность жмыхов и, соответственно, большие потери масла.

Примерно к 1800 г. относится начало использования экстракционного способа производства растительных масел. В это время открыто

производство дешевого растворителя — сероуглерода. В промышленном масштабе экстракция применена впервые во Франции Диссом в 1856 г. Решающим для развития данного способа явилось предложение Д. И. Менделеева применить для экстракции «легкие погоны нефти» — бензин. В царской России это предложение не встретило поддержки, а в Германии на это в 1867 г. был выдан патент. В период 1879—1882 гг. появляется и патентуется, в основном в Германии, ряд экстракционных установок.

В начале XX в. получают широкое распространение батарейные экстракционные установки фирмы «Кебер», которые в некоторых странах до сих пор находят применение, а в нашей стране работали в предвоенный период. Развитие непрерывно-действующих экстракционных установок относится к 1930 г.

Основными тенденциями технического прогресса в производстве растительных масел являются: комплексное использование масличного сырья; повышение производительности труда; рост единичной мощности оборудования; укорочение технологической цепочки и совмещение процессов.

В настоящее время получают развитие следующие направления совершенствования техники производства растительных масел:

- переход к высокоинтенсивным процессам;
- снижение энергопотребления и водопотребления;
- внедрение АСУТП и оптимизации технологических процессов;
- комплексное снижение трудоемкости всех процессов, включая и ремонтные, повышение производительности труда;
- специализация и унификация оборудования.

Современные требования к технологическому оборудованию

Кроме общих требований (прочность, жесткость и вибрационная стойкость), предъявляемых к технологическому оборудованию пищевых производств, оно должно отвечать следующим основным требованиям.

1. Обеспечивать оптимальное протекание технологического процесса. При разработке оборудования проводят оптимальное конструирование, когда в число критериев оптимизации входят все параметры, отражающие как техническое, так и технологическое функционирование оборудования.

2. Иметь высокую технико-экономическую эффективность. В конечном итоге это означает рост производительности труда, а также снижение затрат на единицу продукции.

Основными технико-экономическими показателями являются удельные показатели, отнесенные к производительности технологического оборудования:

– стоимость изготовления, монтажа, ремонта и эксплуатации оборудования;

– размер площади, занимаемой оборудованием (включая площадь, которую необходимо держать свободной для технической эксплуатации машины);

– расход энергии, воды, пара.

3. Технологическое оборудование должно быть технически совершенным и надежным. *Техническое совершенство* измеряется количественно — сроком, в течение которого оборудование соответствует современному уровню техники. *Надежность* — свойство машины выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки.

Для технически совершенного и надежного оборудования характерно:

– применение привода от электродвигателя, что улучшает конструкцию и повышает эксплуатационные показатели;

– автоматизация контроля и регулирования рабочих процессов. В частности, применение блокировки, т.е. невозможности пуска, если хотя бы одна из машин в линии не готова к пуску. Если одна из последующих машин остановилась или прекращена подача продукта или тары, то машина останавливается;

– статическое или динамическое уравнивание вращающихся масс машин.

Неуравновешенность возникает из-за неточности или других дефектов заготовок (например отливок), механической обработки деталей и сборки узлов машины. Статическая неуравновешенность возникает при смещении центра тяжести вращающегося тела относительно геометрической оси его вращения. Динамическая неуравновешенность возникает при несовпадении главной центральной оси инерции тела с геометрической осью его вращения.

При вращении неуравновешенных деталей возникают центробежные силы, достигающие иногда значительных величин, что приводит к следующим явлениям:

– вибрации опор машины и пола (перекрытий) здания;

– чрезмерному износу подшипников и других частей машины;

– увеличению расхода энергии;

– снижению производительности машины;

– увеличению эксплуатационных расходов на ремонт и замену деталей;

– снижению долговечности машин;

- ухудшению качества ее работы;
- саморазвинчиванию резьбовых соединений.

Поэтому необходимо статическое и динамическое уравновешивание вращающихся частей машин.

4. Технологическое оборудование должно быть технологичным, т.е. его конструкция должна соответствовать оптимальным способам изготовления оборудования (от изготовления заготовок деталей до испытания собранной машины).

5. Следует добиваться максимальной унификации и стандартизации деталей и узлов технологического оборудования, максимального применения стандартизованных деталей и изделий. *Унификация* — это приведение различных видов продукции и средств ее производства к наименьшему числу типоразмеров, марок, форм, свойств и т.д. *Стандартизация* — это регламентирование конструкции и типоразмеров широко применяемых деталей, узлов и агрегатов.

Унификация и стандартизация проявляются в многократном применении в конструкции одних и тех же элементов. Количественно унификация и стандартизация характеризуются своими уровнями

$$\eta_y = N_y/N; \quad \eta_c = N_c/N,$$

где η_y , η_c — соответственно уровень унификации и стандартизации; N , N_y , N_c — соответственно, общее число деталей в машине, число унифицированных и стандартных деталей. (В хороших конструкциях $\eta_y = 40...60\%$.)

Это позволяет: повысить технологичность и серийность машин, что повышает производительность и удешевляет производство; упростить и ускорить проектирование; снизить ремонтную сложность машин; сократить номенклатуру необходимых запасных деталей.

6. Технологическое оборудование должно состоять из отдельных, несложно соединяемых блоков. Это облегчает разборку, перемещение и сборку технологического оборудования при монтаже и ремонте.

7. При конструировании и изготовлении технологического оборудования необходимо применять экономичные профили металлов, что уменьшает материалоемкость.

Также целесообразным является использование различных методов упрочнения металлов: упрочнение наклепом — накатывание роликами и т.п.; термомеханическая обработка; поверхностная закалка; цементация; азотирование; цианирование; хромирование; сульфидирование; наплавка и напыление специальных материалов на рабочие органы машины.

8. Технологическое оборудование должно иметь рабочие органы с высокой износостойкостью, т.к. продукты износа, попав в продукт, делают его непригодным для продовольственных и кормовых целей.

9. Следует применять синтетические материалы (пластмассы) при изготовлении и ремонте машин.

Достоинства пластмасс: малая плотность; достаточная для многих случаев механическая прочность, упругость, эластичность; высокая износостойкость.

Применение пластмасс дает:

- снижение массы машин;
- увеличение надежности и долговечности;
- снижение трудоемкости и себестоимости изготовления.

10. Необходимо обеспечить соблюдение правил техники безопасности и производственной санитарии.

Классификация технологического оборудования

На предприятиях по производству растительных масел эксплуатируется многочисленное и разнообразное оборудование. В целом промышленное оборудование включает технологическое оборудование, транспортирующие машины и устройства, машины-двигатели и другие энергетические машины и установки, а также управляющие приборы и оборудование.

Технологическое оборудование по характеру воздействия на обрабатываемый материал можно разделить на аппараты и машины.

В аппаратах осуществляются физико-химические (тепло- и массообмена и др.), биохимические и другие процессы, в результате которых изменяются физические, химические свойства или агрегатное состояние. Для аппарата характерно наличие реакционного пространства или рабочей камеры. Механические устройства в аппаратах не играют основной роли.

В машинах осуществляется механическое воздействие на обрабатываемый материал, при этом достигаются требуемые механические свойства продукта (размер, форма и т.п.), или же происходит механическое перемещение продукта без изменения свойств. Для машин характерно наличие движущихся рабочих органов, непосредственно воздействующих на материал.

Среди аппаратов производства растительных масел выделяют:

— аппараты для проведения физико-химических процессов (экстракторы, дистилляторы, тостеры, сушилки, жаровни, абсорберы, десорберы);

— тепловые аппараты (подогреватели, охладители);

— аппараты для изменения агрегатного состояния рабочих сред (конденсаторы, дефлегматоры);

— аппараты-сепараторы (фильтры, циклоны, водоотделители)

К группе машин относят:

- машины-сепараторы (машины для очистки семян от сорных примесей и фракционирования, аспирационные семеновейки, центрифуги, пресса);
- машины-измельчители (рушки, вальцовые станки, дробилки, плющилки);
- транспортные машины (шнеки, ленточные и цепные транспортеры, нории, разгрузчики, вентиляторы, насосы).

Такая классификация недостаточно совершенна, так как одно и то же оборудование может быть отнесено к разным подгруппам, например «аппараты-сепараторы» и «машины-сепараторы». Или экстракторы, которые по своему назначению и основному протекающему в них процессу отнесены к подгруппе аппаратов для проведения физико-химических процессов, в то же время по конструкции они соответствуют транспортным машинам.

Для классификации технологического оборудования производства растительных масел рациональным является принцип группировки по реализуемым технологическим операциям. В соответствии с этим принципом оборудование можно разделить на следующие группы:

- машины для очистки масличных семян;
- аппараты для сушки масличных семян;
- машины для обрушивания масличных семян;
- машины для разделения рушанки;
- машины для измельчения семян и ядра;
- аппараты для влаготепловой обработки мятки;
- машины для извлечения масла путем прессования;
- аппараты для экстракции масла;
- аппараты для дистилляции мисцеллы;
- аппараты для обработки шрота.

Кроме перечисленных групп основного оборудования производства растительных масел следует выделить группы вспомогательного оборудования, которое также будет рассматриваться в данной книге:

- оборудование для разгрузки, взвешивания и транспортирования масличных семян;
- оборудование для обработки продуктов прессования (масла и жмыха);
- вспомогательное оборудование экстракционных цехов.

Учитывая развитие в стране в настоящее время малых производств растительных масел, в учебнике уделяется внимание соответствующему оборудованию для этих производств.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ОБОРУДОВАНИЕ СЫРЬЕВОГО ОТДЕЛЕНИЯ И ВНУТРИЗАВОДСКОЙ ТРАНСПОРТ

Сырьевой участок производства

На предприятиях по производству растительных масел, как правило, сырьевой участок представляет собой элеваторно-складское хозяйство (рис. 1.1), задачи которого заключаются в оценке каждой прибывающей партии масличных семян по массе и качеству, проведении (если требуется) сушки и очистки семян, их хранении и снабжении основного производства масличными семенами без задержек.

Технологические операции приемки и подготовки к хранению масличных семян выполняют на разнообразном оборудовании.

Приемку масличных семян осуществляют непосредственно от сельхозпроизводителей (как правило, из 50-километровой зоны) и от заготовительных пунктов. Семена от сельхозпроизводителей доставляют автомобильным транспортом в свежесобранном виде в период уборки. От заготовительных пунктов семена поступают, как правило, железнодорожным транспортом в течение всего производственного периода, в основном сухие и очищенные. В последнее время появилось много сдатчиков масличного сырья мелкими партиями в обмен на масло. В этом случае сырье в основном сухое и очищенное.

С применением различного типа пробоотборников отбирают пробы семян от каждой партии (автомашина, вагон и т.п.) для анализа их качества согласно ГОСТа (влажность, сорность и т.п.). Пробоотборники должны обеспечивать получение представительного образца, возможность регулирования величины пробы, быть безотказными в работе и простыми в эксплуатации.

На автомобильных 12 и вагонных 19 весах производят операцию взвешивания. Основные требования к весам: *точность* показаний (для большинства весов, применяемых в промышленности, допускается погрешность $\pm 0,001\%$ грузоподъемности); *устойчивость*, т.е. способность весов возвращаться в исходное состояние после выведения их из этого полож-

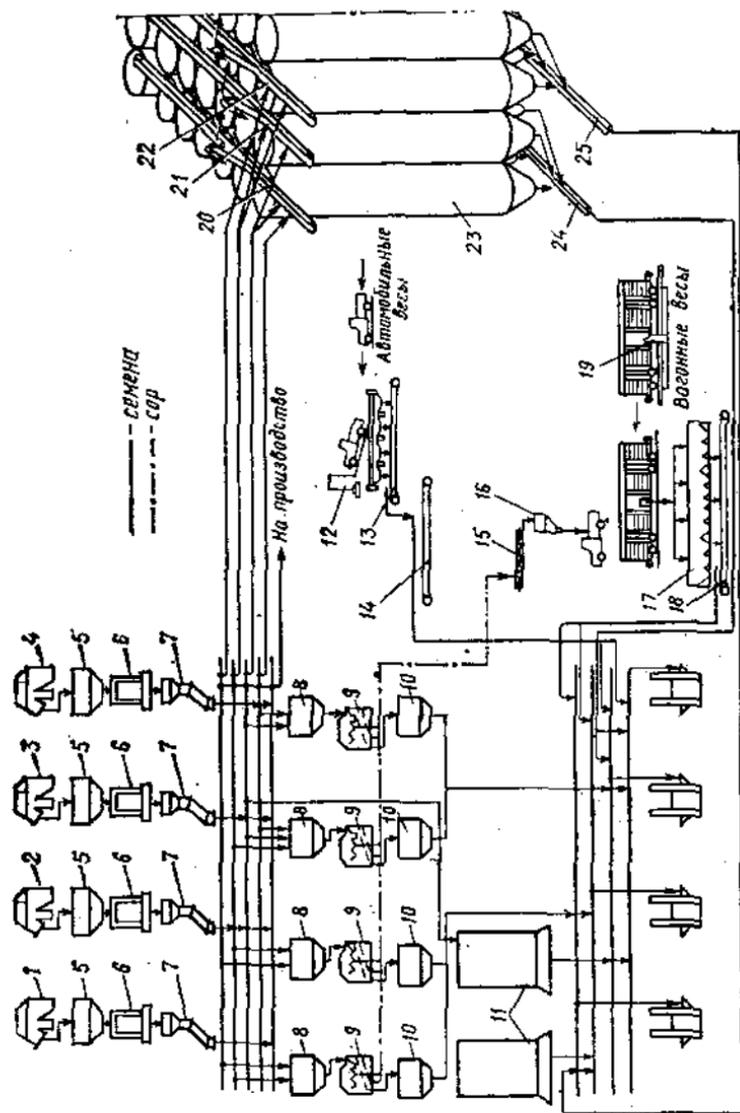


Рис. 1.1. Общая схема элеваторно-складского хозяйства:

1-4 — норин; 5 — бункер над весами; 6 — поворотный патрубок; 7 — бункер над сепаратором; 8 — сепаратор; 9 — бункер пол сепаратором; 10 — сепаратор; 11 — сушилка; 12 — автомобильная весы; 13, 14, 18 — транспортеры; 15 — шнек; 16 — бункер для откорма; 17 — приемные лари; 19 — вагонные весы; 20-22 — наделенные транспортеры; 23 — силосы элеватора; 24, 25 — посылочные транспортеры

ния; *неизменность* показаний при повторных взвешиваниях одного и того же груза; *чувствительность*, т.е. способность весов выходить из состояния равновесия под нагрузкой возможно меньшей величины; *достаточная прочность* весов, которую проверяют под 125%-ной нагрузкой.

Выгрузку масличных семян из автомобилей и автопоездов производят, как правило, гидравлическими автомобилеразгрузчиками двух типов: стационарными (рис. 1.2) и передвижными.

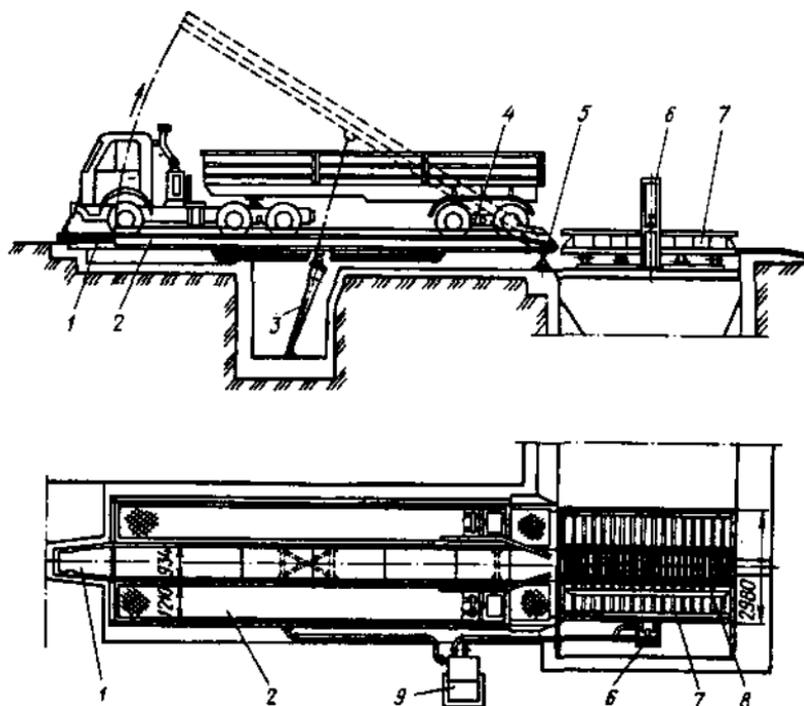


Рис. 1.2. Гидравлический универсальный разгрузчик автомобилей У15-УРВС:

1 — приставка; 2, 7 — большая и малая платформы; 3 — два телескопических гидромкрата; 4 — опоры;
5 — шарнир; 6 — гидроподъемник; 8 — боковой упор колес; 9 — насосная станция

Выгрузку семян из железнодорожных вагонов осуществляют:

- приспособлениями, работающими на принципе волочения (например механические лопаты) (рис. 1.3);
- вагоноопрокидывателями и инерционными машинами (рис. 1.4);
- пневматическим способом выгрузки (рис. 1.5) и саморазгружающимися вагонами (рис. 1.6).

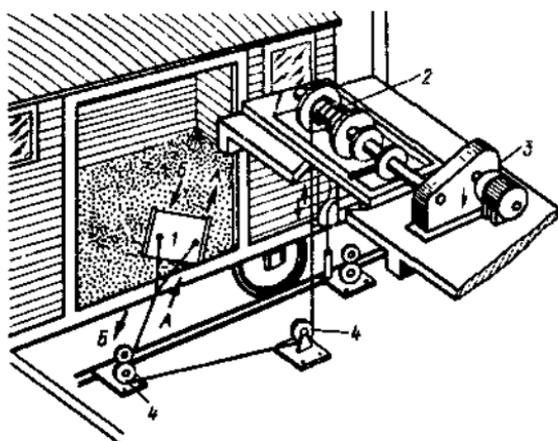


Рис. 1.3. Схема работы механической лопаты:
1 — щит-лопата; 2 — барабан; 3 — электродвигатель с редуктором;
4 — передвижные ролики

В сушильно-очистительном отделении первую очистку семян проводят на сепараторах, представляющих собой комбинированные машины, где примеси от семян отделяются на ситах и в воздушном потоке. На первую очистку поступают только что принятые семена, отличающиеся не только повышенной засоренностью, но и влажностью, что затрудняет проведение очистки; поэтому после сушки семена нуждаются в повторной очистке. Проведение очистки семян перед подачей на сушку снижает возможность забивания механизмов сушилки и загорания сорных примесей.

Сушку семян производят конвективным способом с использованием дымовых газов в смеси с воздухом в качестве сушильного агента. Для суш-

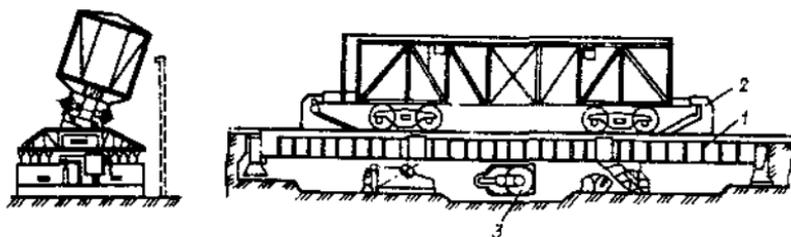


Рис. 1.4. Схема работы инерционной машины ИРМ-7:
1 — платформа (качающийся мост); 2 — взвешивающий механизм; 3 — рычаги-балансиры

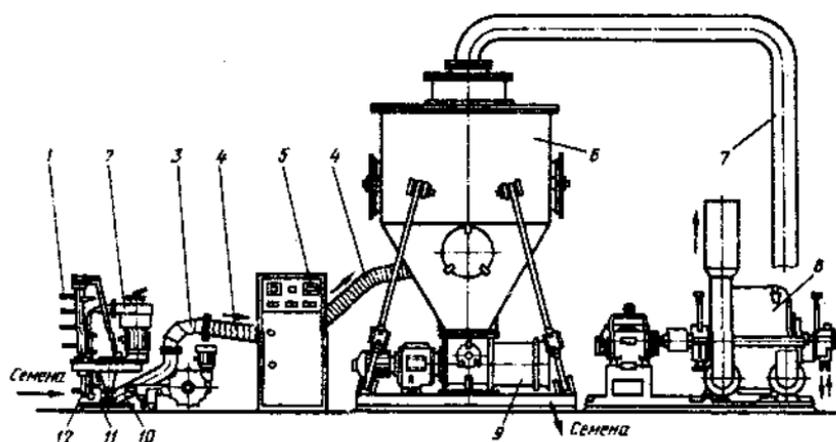


Рис. 1.5. Пневматический разгрузчик маслосемян ТА-35:

1, 12 — верхний и нижний ворошители; 2 — заборное устройство; 3 — патрубок; 4 — гибкий трубопровод; 5 — пульт управления; 6 — осадительная камера; 7 — воздухопровод; 8 — воздуходувка; 9 — шн.к.-разгрузитель; 10 — всасывающее сопло; 11 — подгребающий диск

ки используют сушильные установки различных типов (барабанные, шахтные и рециркуляционные).

Второй очистке семян после сушки может предшествовать операция разделения семян на две фракции (крупную и мелкую). Для разделения семян на фракции используют ситовые машины, а для второй очистки обеих фракций такие же сепараторы, что и для первой очистки, но при этом возможны изменения в ситовой системе.

Сухие и очищенные семена взвешивают на автоматических весах и закладывают на хранение. Различают два основных способа хранения семян насыпью (напольное и силосное).

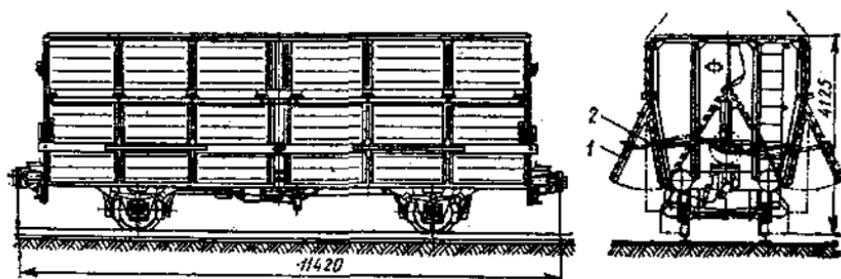


Рис. 1.6. Саморазгружающийся вагон:

1 — крышки разгрузочных люков; 2 — рычажные механизмы

Для напольного способа хранения применяется высота насыпи до 10 м. Хранилища этого способа хранения, называемые складами, представляют собой одноэтажные помещения с горизонтальными или наклонными полами и кирпичными, железобетонными или деревянными стенами.

Склады для хранения семян могут быть немеханизированные (рис. 1.7) и механизированные (рис. 1.8). Первые имеют горизонтальные полы и не имеют стационарной разгрузочной механизации. Полная механизация

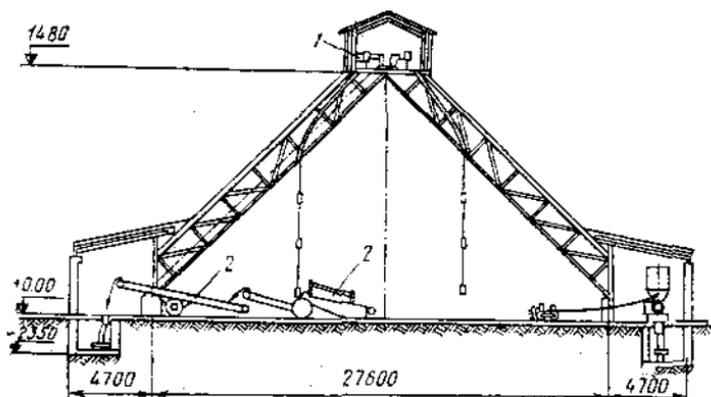


Рис. 1.7. Склад шатрового типа:

1 — верхний ленточный транспортер; 2 — передвижные зернопогрузчики и ленточные транспортеры

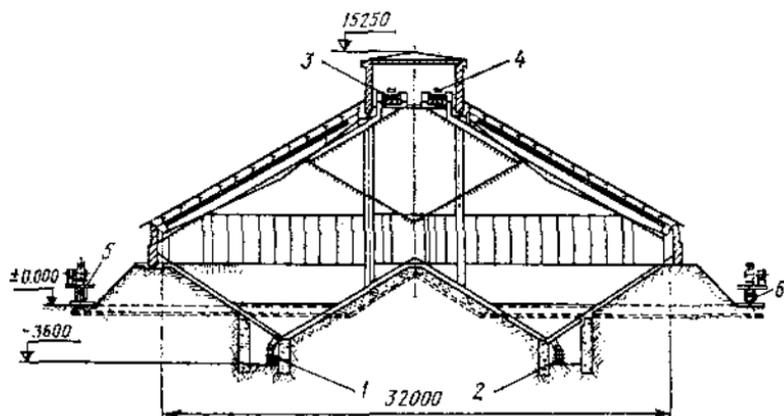


Рис. 1.8. Типовой механизированный склад:

1, 2 — нижние ленточные транспортеры; 3, 4 — верхние ленточные транспортеры;
5, 6 — вентиляторы

ция достигается в складах с наклонными полами (угол наклона должен быть больше угла трения семян о материал пола).

Силосный способ хранения в элеваторах характеризуется высотой насыпи семян до 30–40 м. Хранилища силосного способа хранения, называемые элеваторами (рис. 1.9), обеспечивают комплексную механизацию производственных процессов, автоматизацию управления ими, высокую степень механизации труда, эффективное использование емкостей.

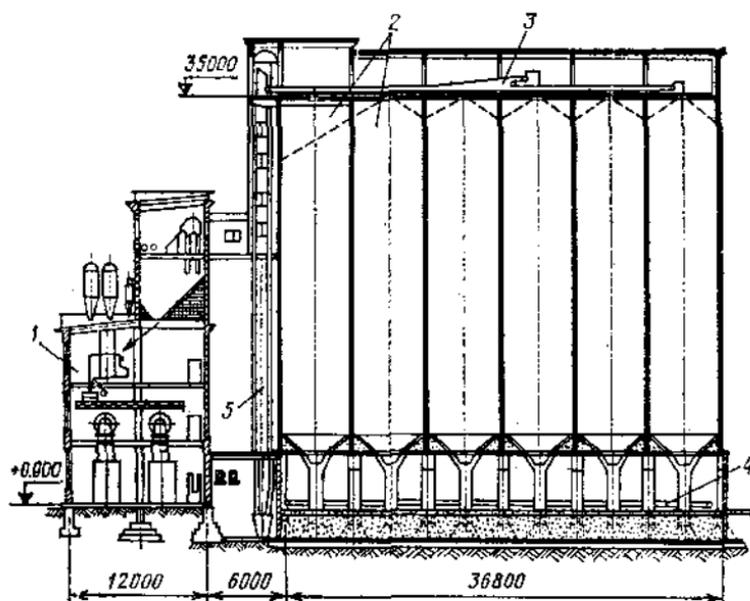


Рис. 1.9. Элеватор с сушильно-очистительной башней:

1 — сушильно-очистительная башня; 2 — силосные ячейки; 3, 4 — система верхних и нижних ленточных транспортеров; 5 — нория

Внутризаводской транспорт обеспечивает перекачивание семян из одного силоса в другой — в элеваторах, или из одного отсека в другой — в складах. От хранилища отходит транспортер для подачи семян в основное производство.

Внутризаводское транспортное оборудование

Подача семян из приемных устройств (автомобильного или железнодорожного) в сушильно-очистительное отделение и загрузка в хранилище, а по мере необходимости — выгрузка семян из хранилища и подача

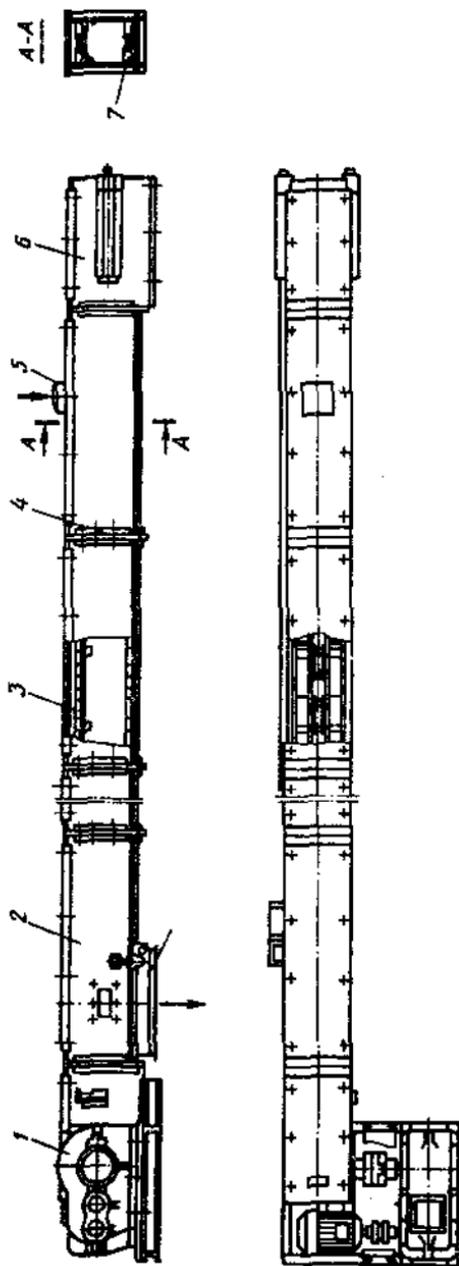


Рис. 1.11. Схема скребкового цепного транспортера:

1 — привод; 2 — короб; 3 — цепь; 4 — фланцы; 5, 6 — загрузочный и выгрузочный патрубки; 6 — натяжное устройство; 7 — скребки

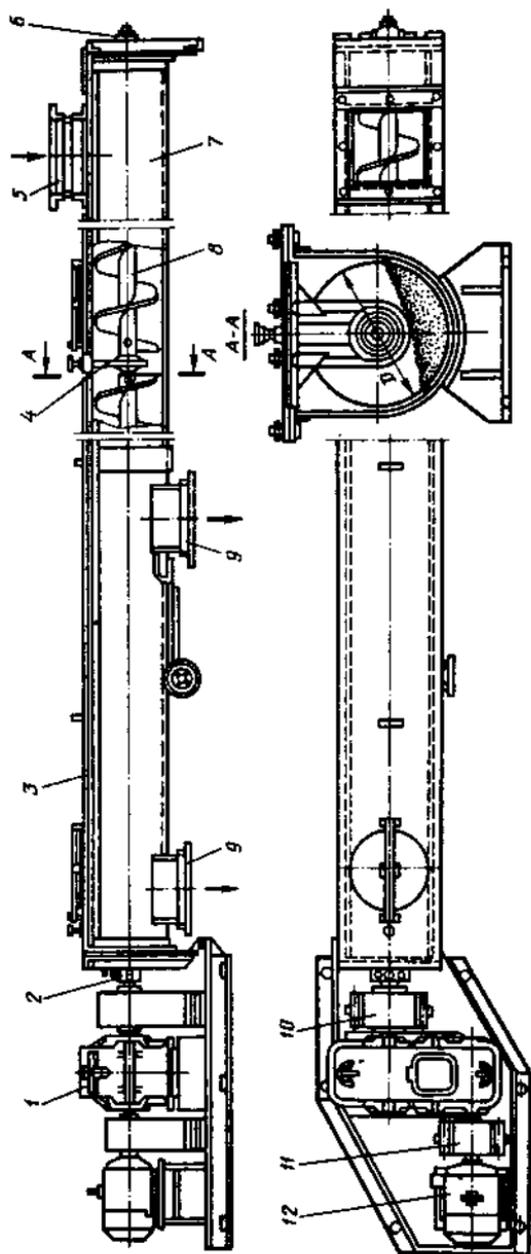


Рис. 1.12. Схема винтового транспортера:

1 — редуктор; 2, 6 — концевые подшипники; 3 — крышка; 4 — подвесные подшипники; 5, 9 — загрузочный и выгрузочный патрубки; 7 — желоб; 8 — шнек; 10, 11 — муфты; 12 — электродвигатель

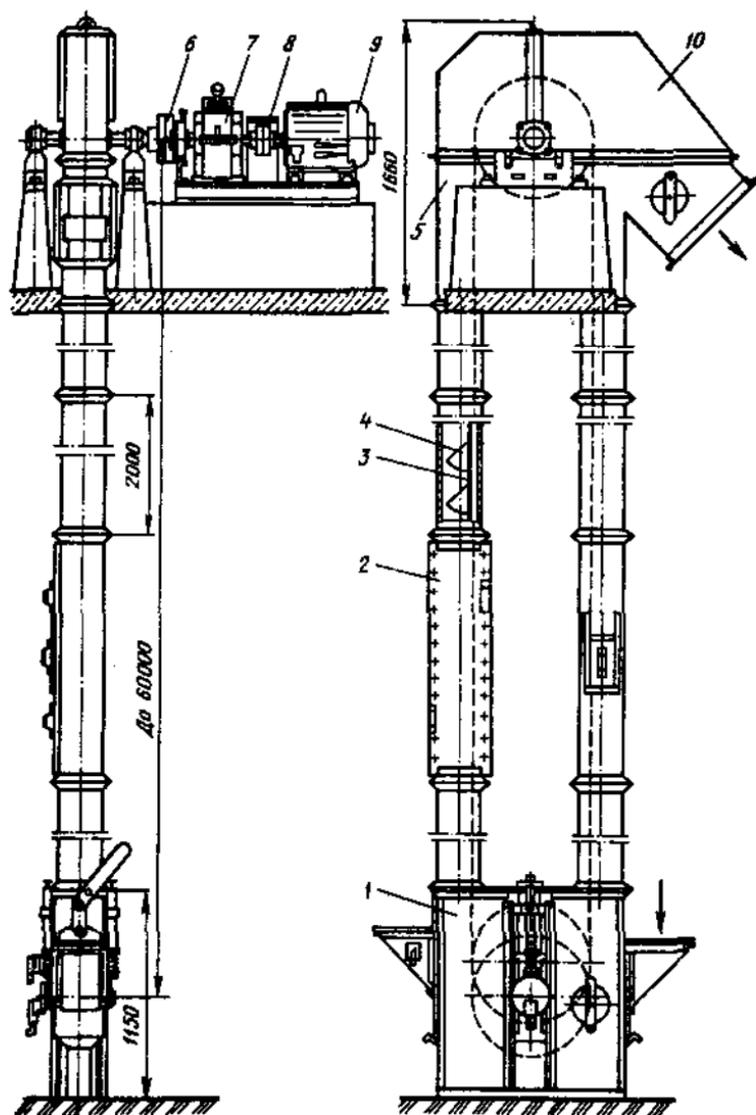


Рис. 1.13. Нория ленточная:

1, 5 — башмак и головка нории; 2 — норийные трубы; 3 — лента; 4 — ковши; 6, 8 — муфты;
7 — редуктор; 9 — электродвигатель; 10 — выпускной патрубок

их в производство, осуществляются внутризаводским транспортом, который включает в себя ленточные транспортеры (рис. I.10), цепные транспортеры с погруженными скребками — редлеры (рис. I.11), шнековые винтовые транспортеры (рис. I.12), ленточные нории (рис. I.13), гравитационный транспорт самотечный, пневмотранспорт (рис. I.14) и аэрожелоба.

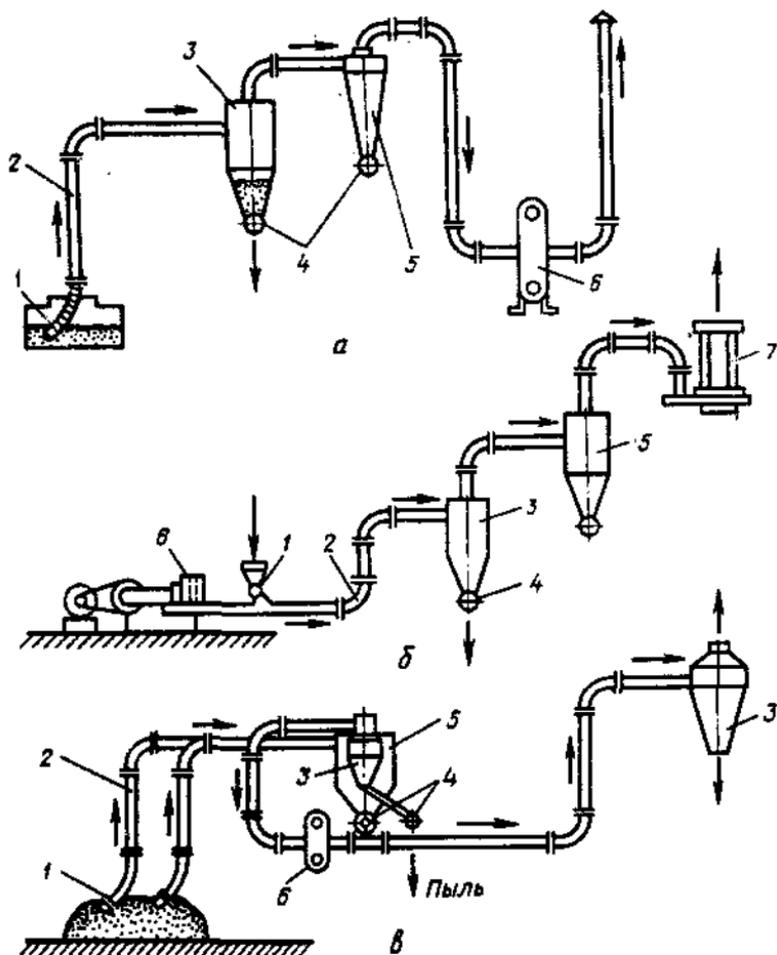


Рис. I.14. Схемы пневмотранспортных установок (а — всасывающая; б — магнетательная; в — комбинированная):

1 — загрузочное устройство; 2 — транспортирующий трубопровод; 3 — разгрузочное устройство; 4 — шлюзовые затворы; 5 — очиститель воздуха; 6 — воздухоудлавная установка; 7 — фильтр

Вопросы расчета внутризаводского транспортного оборудования

Ленточные транспортеры. Производительность горизонтального ленточного транспортера (Π , кг/с) при перемещении сыпучих грузов определяется по одной из следующих формул:

— в общем виде

$$\Pi = fvr, \quad (1.1)$$

здесь f — площадь поперечного сечения сыпучего груза на ленте, m^2 ; v — скорость движения ленты, m/c (выбирается из следующего ряда стандартизированных значений: 0,25; 0,315; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; допускается применение скоростей менее 0,25 m/c); ρ — насыпная плотность груза, kg/m^3 ;

— при использовании транспортера с плоской лентой

$$\Pi = 0,04b^2vr, \quad (1.2)$$

где b — ширина ленты в соответствии с ГОСТ 22644–77 ($b = 0,3; 0,4; 0,5; 0,65; 0,8; 1$ м).

В других случаях производительность транспортеров определяется по следующим формулам:

— плосколенточного транспортера, установленного в наклонном положении

$$\Pi_n = \Pi(1 - 0,02\beta), \quad (1.3)$$

где β — угол наклона конвейера, град.

— горизонтального желобчатого транспортера

$$\Pi = 0,056b^2vr, \quad (1.4)$$

— наклонно расположенного желобчатого транспортера

$$\Pi_n = \Pi \cos^3\beta \text{ (при } \beta \leq 20^\circ); \quad (1.5)$$

$$\Pi_n = \Pi \cos^4\beta \text{ (при } \beta > 20^\circ). \quad (1.6)$$

Мощность привода ленточного транспортера (кВт)

$$N = \Pi(L + H)K/102\eta, \quad (1.7)$$

где Π — производительность транспортера, kg/c ; L — длина транспортера, м; H — высота подъема груза, м; K — коэффициент запаса мощности привода ($K = 3 \dots 5$, большие значения принимаются для транспортеров малой длины или малой производительности); η — КПД привода.

Мощность электродвигателя (кВт) для привода ленточного транспортера (с учетом КПД передач и собственного КПД электродвигателя)

$$N = k\Pi(L + H), \quad (I.8)$$

где k — коэффициент, зависящий от производительности и длины транспортера (для транспортеров малой длины и производительности — от 0,03 до 0,04; для транспортеров средней длины и производительности — от 0,01 до 0,02; для транспортеров большой длины и высокой производительности — от 0,0018 и 0,0021); H — высота подъема груза, м (у горизонтальных транспортеров $H = 0$).

Диаметр барабана (м)

$$d_6 = (0,1 \dots 0,15)z, \quad (I.9)$$

где z — число накладок в ленте (обычно принимают $z = 3 \dots 5$).

Полученное расчетное значение диаметра барабана округляют до ближайшего стандартного из ряда: 0,16; 0,2; 0,25; 0,315; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25 м.

Длина обечайки барабана (м):

— для лент шириной 0,3...0,65 м

$$l_6 = b + 0,1; \quad (I.10)$$

— для лент шириной 0,8 и 1 м

$$l_6 = b + 0,15. \quad (I.11)$$

Скорость движения ленты (м/с)

$$v = \pi d_6 n / 60, \quad (I.12)$$

где n — частота вращения барабана, мин^{-1} .

Отклонение расчетной величины скорости от стандартного значения (приведено выше) не должно превышать 10%.

Число роlikоопор под верхней (рабочей) ветвью ленты при перемещении сыпучих грузов

$$X_p = (L/l_p) - 1. \quad (I.13)$$

Число роlikоопор под нижней (холостой) ветвью ленты

$$X_x = (L/l_x) - 1, \quad (I.14)$$

здесь l_p и l_x — соответственно, расстояние между верхними и нижними роlikоопорами, м; $l_p = 1,0 \dots 1,5$ м — расстояние между роlikоопорами (под верхней ветвью ленты оно принимается равным: 1,5 м для лент шириной 0,4 и 0,5 м; 1,4 м для лент шириной 0,65 и 0,8 м; 1,3 м для лент шириной 1 м и выше);

$$l_x = (2 \dots 2,5)l_p, \quad (I.15)$$

но не более 3,5 м.

Число прокладок в ленте

$$z = F/(b\sigma), \quad (I.16)$$

где F — действующая нагрузка, Н; σ — допускаемое напряжение, Н/м (для бельтинга $\sigma = 11\,770$ Н/м).

Скребокковые транспортеры. Производительность скребкового транспортера (кг/с)

$$\Pi = b_{*}h_{*}v\rho\varphi C, \quad (I.17)$$

где b_{*} , h_{*} — соответственно ширина и высота желоба, м; они принимаются с учетом величины зазора между желобом и скребками (от 5 до 15 мм) и размеров скребков b и h , а также шага s (м):

b	0,2	0,25	0,32	0,4	0,5	0,65
h	0,1	0,125	0,16	0,2	0,2	0,25
s	0,32	0,32	0,5	0,5	—	—

v — скорость движения скребков ($v = 0,1 \dots 0,63$ м/с); ρ — насыпная плотность (масса) перемещаемого материала, кг/м³; φ — коэффициент заполнения желоба: для легкосыпучих, мелкозернистых грузов $\varphi = 0,5 \dots 0,6$; для плохосыпучих, кусковых грузов $\varphi = 0,7 \dots 0,8$; C — коэффициент, учитывающий угол наклона конвейера β :

β , град	0	10	20	30	35	40
C :						
для груза легкосыпучего	1	0,85	0,65	0,5	—	—
для плохосыпучего, кускового	1	1	1	0,75	0,6	0,5

Ширина желоба (м)

$$b_{*} = b + 2a, \quad (I.18)$$

где b — ширина скребка, м; a — зазор между стенкой желоба и скребком, м.

Высота желоба (м)

$$h_{*} = h - (0,025 \dots 0,05), \quad (I.19)$$

где h — высота скребка, м.

Производительность скребокковых транспортеров (кг/с) с контурными скребками (конвейеров Редлера)

$$\Pi = bhv\rho\varphi K_c K_y, \quad (I.20)$$

где φ — коэффициент заполнения желоба, равный 0,85—0,9; K_c — скоростной коэффициент, равный 0,8—0,9 для горизонтальных и пологонаклонных конвейеров; K_y — коэффициент уплотнения груза в желобе, равный 1,05...1,1.

Мощность электродвигателя для привода скребкового транспортера (кВт)

$$N = (0,015 \dots 0,02) \Pi (KL + H), \quad (I.21)$$

где K — коэффициент, учитывающий размеры частиц груза (для мелкокусковых грузов $K = 2 \dots 4$); L — длина транспортера по горизонтали, м; H — высота подъема груза, м.

Винтовые транспортеры. Производительность винтовых транспортеров (кг/с)

$$\Pi = 0,0131 D^2 S n \rho \varphi C, \quad (I.22)$$

или (кг/ч)

$$G = 47,1 D^2 S n \rho \varphi C, \quad (I.23)$$

где D — диаметр винта, м; n — частота вращения винта, мин^{-1} ; ρ — насыпная плотность перемещаемого материала, кг/м^3 ; φ — коэффициент заполнения желоба, равный $0,25 \dots 0,65$; S — шаг винта, м

$$S = (0,8 \dots 1,0) D. \quad (I.24)$$

Диаметр винта выбирается из ряда: 0,1; 0,125; 0,16; 0,2; 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,63 и 0,8 м. Шаг винта соответственно равен 0,08; 0,1; 0,125; 0,16; 0,2; 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,63 м. Частота вращения винта (стандартная) составляет 6; 7,5; 9,5; 11,8; 15; 19; 23,6; 30; 37,5; 47,5; 60; 75; 95; 118; 150; 190; 236; 300 мин^{-1} . Допускается отклонение фактической частоты вращения от стандартной в пределах 10 %.

C — коэффициент (для вертикальных транспортеров $C = 0,275 \dots 0,488$), величина которого зависит от угла наклона транспортера к горизонту — β :

β , град	0	5	10	15	20
C	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Иногда при расчетах требуется найти скорость поступательного движения материала в желобе (м/с)

$$v = S n / 60. \quad (I.25)$$

При использовании винтового транспортера для подъема сыпучих грузов по вертикали его производительность (кг/с)

$$\Pi = (0,00324 \dots 0,00606) D^2 S n \rho. \quad (I.26)$$

Частота вращения винта вертикального транспортера принимается в зависимости от диаметра:

D	0,1	0,16	0,2	0,25
n	400...600	300...550	250...500	200...450

Расчетная мощность электродвигателя для привода винтового транспортера (кВт)

$$N = (0,025 \dots 0,031)(L\omega + H)\Pi, \quad (1.27)$$

где L — длина транспортера (не более 40 м); ω — коэффициент сопротивления движению, равный 1,9...6,3 (меньшие значения принимаются для легких неабразивных грузов); H — высота подъема груза, м; Π — производительность транспортера, кг/с.

При изготовлении винтовых транспортеров необходимо рассчитывать размеры развертки винта (рис. 1.15):

— длина наружной винтовой линии одного витка (м)

$$L_p = \sqrt{S^2 + (\pi D)^2}; \quad (1.28)$$

— длина внутренней винтовой линии витка (м)

$$l = \sqrt{S^2 + (\pi d)^2}; \quad (1.29)$$

— внутренний диаметр развертки винта (м)

$$d_x = (D - d)/(L_p - l); \quad (1.30)$$

— наружный диаметр развертки винта (м)

$$D_x = d_x + D - d. \quad (1.31)$$

Угол выреза β (град) находится из соотношения

$$L_p/\pi D_x = (360 - \beta_1)/360, \quad (1.32)$$

откуда $\beta_1 = 360(1 - L_p/\pi D_x)$.

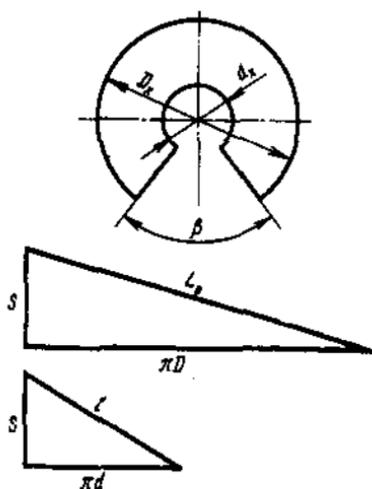


Рис. 1.15. Развертка винта

Нории (ковшовые элеваторы). Производительность элеватора (кг/с)

$$\Pi = v\rho\varphi/a, \quad (1.33)$$

или

$$\Pi = v g_1 z_1, \quad (1.34)$$

где v — скорость движения ленты или цепи с ковшами, м/с; i — вместимость ковша, м³; ρ — насыпная плотность транспортируемого материала, кг/м³; φ — коэффициент заполнения ковшей, равный 0,75...0,85; a — расстояние между соответствующими точками ковшей (шаг ковшей) (у норий производительностью (по зерну) 10...40 т/ч $a = 0,26$ м; 50 т/ч — 0,16 м; 100...200 т/ч — 0,18 м; 175 т/ч — 0,21 м; 350 т/ч —

0,32 м); g_1 — масса груза в ковше, кг; z_1 — число ковшей на 1 м элеватора

$$z_1 = 1/a. \quad (1.35)$$

Мощность электродвигателя для привода ковшового элеватора (кВт)

$$N = (0,014...0,018)ПН = (0,004...0,005)GH, \quad (1.36)$$

где H — высота подъема груза, м; G — производительность элеватора, т/ч.

Более точно расчет мощности может быть произведен с учетом рассмотрения схем к расчету приводов элеваторов, которые приведены на рис. 1.16.

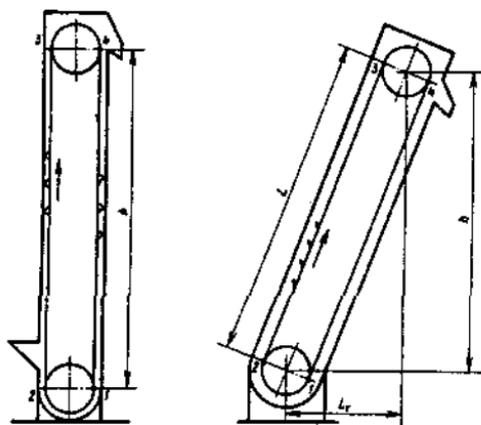


Рис. 1.16. Схемы к расчету приводов элеваторов

Мощность электродвигателя для привода вертикальных элеваторов (Вт)

$$N = P_T \nu K / \eta, \quad (1.37)$$

где K — коэффициент запаса мощности ($K = 1,2...1,25$); η — КПД привода; P_T — тяговое усилие на приводном барабане, Н.

$$P_T = (S_{наб} - S_{сб}) / 0,95, \quad (1.38)$$

здесь $S_{наб}$ — усилие натяжения набегающей ветви, Н.

$$S_{наб} = K_1 S_1 + K_2 q + 10h(q + q_0), \quad (1.39)$$

где K_1 — коэффициент, равный 1,05...1,07; S_1 — наименьшее усилие натяжения ленты в точке 1 ($S_1 = 1000...2000$ Н); K_2 — работа, необходимая для зачерпывания 1 кг материала ($K_2 = 40...50$ Н · м/кг); h — высота подъема груза, м; q — масса материала на 1 м ленты, кг; q_0 — масса 1 м ленты, кг; $S_{сб}$ — усилие натяжения сбегающей ветви, Н.

$$S_{сб} = S_1 + q_0 h \cdot 10. \quad (1.40)$$

Следовательно

$$P_r = [(0,05...0,07)S_1 + q(K_2 + 10h)]/0,95. \quad (1.41)$$

Для цепных наклонных элеваторов (в том числе для элеваторов «Гу-синая шея»)

$$S_{\text{нав}} = 1,1S_1 + 10 [0,2L_r(q + q_0) + qh], \quad (1.42)$$

где $S_1 = 3000...4000$ Н; L_r — длина горизонтальной проекции элеватора, м;

$$S_{\text{сб}} = S_1 + 2q_0L_r, \quad (1.43)$$

откуда

$$P_r = 0,1S_1 + 2q(L_r + 5h)/H. \quad (1.44)$$

Пневмотранспорт. Количество воздуха ($\text{м}^3/\text{ч}$), необходимое для перемещения сыпучих материалов (маслосемян, лузги и других)

$$V = G\alpha/(\rho\mu), \quad (1.45)$$

где G — производительность установки, $\text{кг}/\text{ч}$; α — коэффициент неравномерности подачи материала, равный $1,1...1,5$; ρ — плотность воздуха (для всасывающих установок $\rho = 0,8...1,0$ $\text{кг}/\text{м}^3$, для нагнетательных $1,6...2$ $\text{кг}/\text{м}^3$); μ — массовая концентрация смеси, равная для установок низкого и среднего давления $3...5$ $\text{кг}/\text{кг}$.

По найденному расходу воздуха определяем по номограмме (рис. 1.17) диаметр пневмопровода. При этом рекомендуемые значения скорости движения воздуха принимаются в пределах от 16 до 25 м/с и отмечаются на вертикальной шкале номограммы. Из этой отметки проводится горизонтальная линия до встречи с наклонной линией, соответствующей расходу воздуха, и из точки пересечения проводится вертикальная линия до пересечения с горизонтальной шкалой диаметров пневмопровода.

При работе на разрежение $0,02...0,03$ МПа мощность привода воздушной машины (кВт)

$$N = (0,03...0,048)V. \quad (1.46)$$

При работе на нагнетание (сжатие) мощность привода (в кВт)

$$N = (0,0014...0,0016)V''H, \quad (1.47)$$

где V'' — расход воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$; H — потеря давления в установке, Па.

В свою очередь

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5, \quad (1.48)$$

где h_1 — потери давления при движении чистого воздуха, Па; h_2 — потери давления по длине пневмопровода при движении аэросмеси, Па; h_3 —

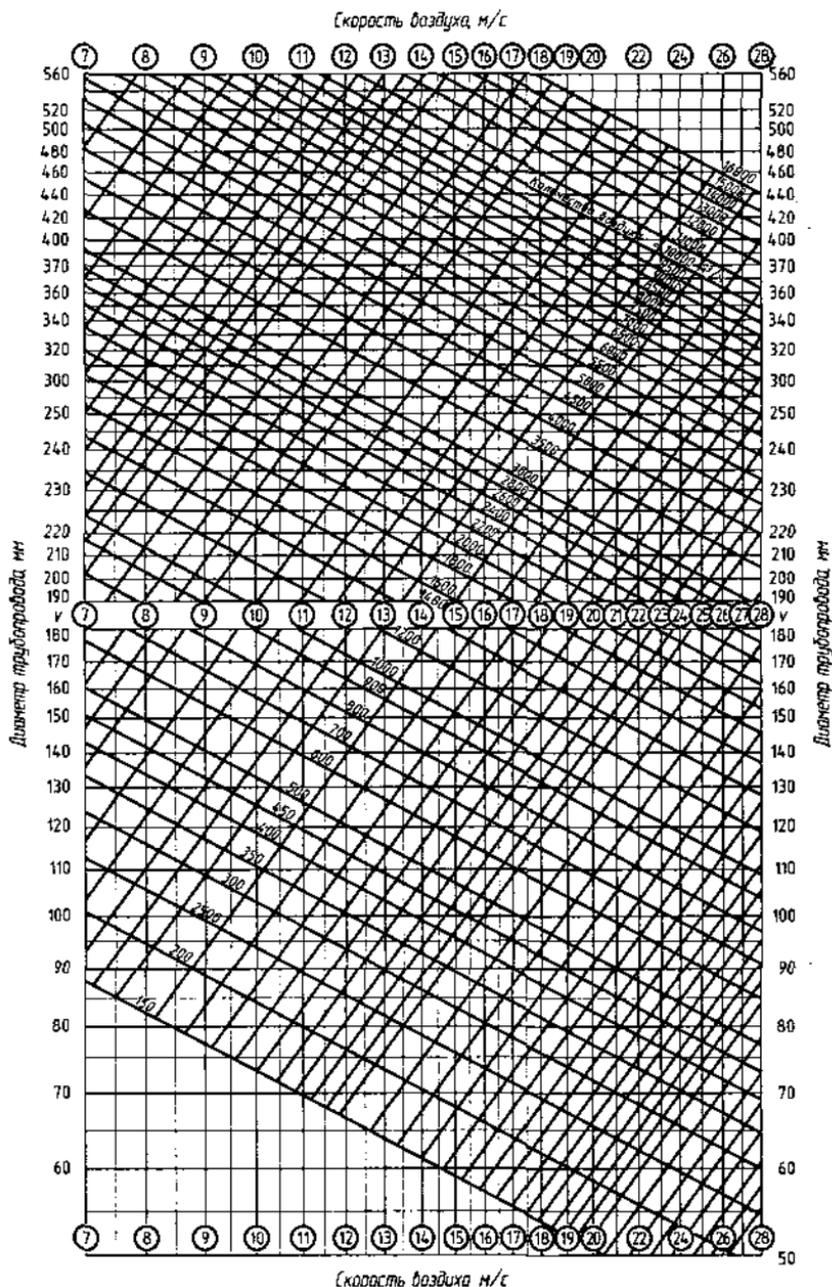


Рис. I.17. Номограмма для определения диаметра пневмопровода

потери давления на разгон частиц материала, Па; h_4 — потери давления в местных сопротивлениях, Па; и h_5 — потери давления на подъем материала на вертикальных участках, Па.

$$h_1 = 0,018v^2L/D; \quad (I.49)$$

$$h_2 = h_1(1 + K\mu); \quad (I.50) \quad h_3 = i\mu v^2; \quad (I.51)$$

$$h_4 = \sum \xi \cdot 0,5v^2(1 + K\mu); \quad (I.52) \quad h_5 = 18z\mu v/(v - v_{\text{вит}}). \quad (I.53)$$

Здесь v — скорости движения воздуха и материала (предполагается, что они практически равны); L — длина пневмопровода, м; D — диаметр пневмопровода, м; K — коэффициент сопротивления: для зернистых материалов $K = 0,5 \dots 0,7$, для порошкообразных и пылевидных материалов $K = 0,5 \dots 1,5$ (меньшие значения берутся для легкосыпучих грузов, большие — для менее сыпучих, слеживающихся, комковатых); μ — массовая концентрация смеси, кг/кг; i — коэффициент, равный 0,5 для всасывающих и 0,9 для нагнетательных установок; z — высота подъема груза, м; $v_{\text{вит}}$ — скорость витания частиц (для семян подсолнечника $v_{\text{вит}} = 7,3 \dots 8,4$ м/с; лузги подсолнечной 4...5; арахиса шелушенного 12...14; семян конопли 11; семян льна 4,5...5,2; семян хлопчатника 9,5); $\sum \xi$ — сумма коэффициентов местного сопротивления (для утки 0,3...0,7; для обхода 1,5...2; для прямоугольного колена 1,1; для бокового входа 1; для дросселя 0,05; для диффузора 0,1...0,2; для конфузора 0,06...0,1; для диффузора перехода с круглого на прямоугольное сечение 0,05...0,15; для конического входного раструба 0,2...0,4; для входа с козырьком 0,7; для входа через жалюзийную решетку 0,5...1; для внезапного расширения 0,1...0,5; для внезапного сужения 0,2...0,4; для пылевой камеры 0,5; для разгрузителя 2,5; для входа в трубу 0,25...0,5; для отводов 0,13...0,15).

Свойства масличных семян как объекта сушки и очистки

Семена подсолнечника — основной вид масличного сырья в России. Трудами селекционеров созданы сорта высокомасличного подсолнечника. Основным признаком различных сортов семян высокомасличного подсолнечника является лузжистость, с которой связан целый комплекс свойств семян:

$$L = 13,8 + 1,8 d \quad (r = 0,83)$$

где L — лузжистость семян, %; d — размер (ширина) семян, мм;

$$d = (3/2)(d_{\text{экв}} - 2)$$

$d_{\text{экв}}$ — эквивалентный диаметр, мм

$$\rho = 0,534 + 1,038/d \quad (h = 0,93),$$

где ρ — плотность семян, г/см³;

$$\begin{aligned} L &= 16,6 + 0,1 A \quad (\tau = 0,87) \\ L &= 1,2 + 16,1/\rho \quad (\eta = 0,72) \\ A &= 67578/H - 100,2 \quad (\eta = 0,84) \\ A &= 17,5 d - 25,6 \quad (\tau = 0,94), \end{aligned}$$

где A — масса 1000 шт. семян, г;

$$H = 284 + 644/d \quad (\eta = 0,92),$$

где H — натура семян, г/л;

$$\begin{aligned} A &= 190,2/\rho - 193,5 \quad (\eta = 0,79) \\ L &= 3,4 + 7900/H \quad (\eta = 0,91) \\ \rho &= 0,0013 H + 0,192 \quad (\tau = 0,64) \\ M &= 78,8 - 1,36L \end{aligned}$$

(M — масляность семян, % на общий вес).

П р и м е ч а н и е: Натура семян — это, практически, объемная масса слоя семян, измеряемая на специальном приборе — пурке, обычно используемом для измерения качества зерна, имеющем емкость определенного объема и диаметра, а семена засыпаются в него с определенной высоты. Все это стабилизирует измерения.

Обычно принято характеризовать слой насыпной массой или объемной массой

$$\rho_n = M/V_{cm}, \text{ кг/м}^3$$

На объемную массу слоя семян подсолнечника влияет содержание крупного сора C_1 , мелкого сора C_2 и влаги W

$$\begin{aligned} \rho_n &= 413,5 - 6,1 C_1 \\ \rho_n &= 412 - 3C_2 + 0,11 C_2^2 \\ \rho_n &= 413,5 - 2W \text{ или } \rho_{нас} = 0,111 W^2 - 5,17 W + 440 \end{aligned}$$

Если учесть плотность семян (кг/м³)

$$\rho = M/V_{sem}$$

(по данным Г. И. Гарбузовой объем одного семени с ростом W растет: $W = 6\%$ — $V_{sem} = 0,09 \text{ см}^3$; $W = 10\%$ — $V_{sem} = 0,094 \text{ см}^3$; $W = 16\%$ — $V_{sem} = 0,102 \text{ см}^3$); соответственно описываются зависимостью размер $d_{экв} = 1,4 \cdot 10^{-3} W^2 - 3 \cdot 10^{-3} W + 5,45$, мм и плотность семян $\tau = 0,0979 W^2 + 1,612 W + 711,3$, кг/м³),

то порозность определяется как доля свободного объема в слое $\epsilon = (V_{cm} - V_{sem})/V_{cm} = 1 - \rho_n/\rho$.

Например, эти показатели для семян подсолнечника имеют следующие величины: $\rho = 680 \dots 700 \text{ кг/м}^3$; $\rho_n = 400 \dots 440 \text{ кг/м}^3$; $\epsilon = 0,415$.

Для других маслических семян объемная масса слоя имеет следующие значения: арахис — 430—450 кг/м³; клещевина — 428—463 кг/м³; хлопковые семена (4% опушенность) — 420—467 кг/м³, т.е. этот показатель для различных семян очень близок.

Размеры и форма семян. Эти свойства необходимы при выборе конструкций рабочих органов следующих машин: сепараторов для очистки семян; классификаторов для фракционирования семян; сепараторов для рванки.

Линейные размеры тесно связаны с другими физико-механическими показателями, по ним можно рассчитать: объем семянки (эквивалентный диаметр); площадь поверхности; коэффициент формы.

Эквивалентный диаметр — диаметр шара, равновеликого по объему частице

$$V_{\text{шара}} = \frac{\pi d^3}{6}; \quad (1.54)$$

$$d_{\text{экв}} = \sqrt[3]{\frac{6V_{\text{шара}}}{\pi}} = 1,24 \cdot \sqrt[3]{\frac{G}{\rho}}, \quad (1.55)$$

где G , ρ — соответственно масса одного семени и его плотность.

Если размер семени подсолнечника характеризуется длиной l , мм, шириной a , мм и толщиной b , мм, то объем семени V , мм³, площадь поверхности S , мм² и коэффициент формы φ (отношение площади поверхности частицы к площади поверхности шара равновеликого частице по объему; для семян подсолнечника в среднем $\varphi = 1,34$) можно рассчитать по формулам:

$$V = 2,382 a^{1,7} b^{0,36} l^{0,12} \quad (1.56)$$

$$S = 0,385 a^{0,7298} b^{0,0267} l^{2,0364} \quad (1.57)$$

$$\varphi = 0,7295 a^{0,1692} b^{-0,3311} l^{0,3069} \quad (1.58)$$

Естественная вариация условий произрастания, а также расположения семени на отдельном растении ведет к тому, что семена отличаются по своим свойствам, в том числе и по размерам. Установлен нормальный закон вариации

$$n = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(d-M)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (1.59)$$

где $M = \sum \frac{nd}{N}$ — средний размер и $\sigma = \sqrt{\sum \frac{n(d-M)^2}{N}}$ — среднеквадратичное отклонение (n — доля семян данного размера d в массе семян, N — общее количество семян в массе).

С размером тесно связаны некоторые другие свойства. Например, коэффициент корреляции между толщиной семени и толщиной лузги равен 0,838. Вообще, толщина семян наиболее тесно связана с большинством их физико-механических характеристик, в том числе и с абсолютной массой.

С увеличением b возрастает масса семени, зазор между лузгой и ядром, масса, ширина и толщина ядра.

Коэффициенты трения. Коэффициент трения является характеристикой, оценивающей величину связи двух тел, находящихся под действием сжимающей нагрузки, и представляет собой отношение тангенциального усилия, или силы сопротивления трения F , к нормальной нагрузке N , сжимающей поверхности двух тел. Коэффициент трения $f = F/N$.

Знание коэффициентов трения необходимо для определения в расчетах машин тангенциальных усилий, возникающих между поверхнос-

тями рабочих органов и обрабатываемой средой под действием сжимающей нагрузки.

Углом трения называется угол, тангенс которого равен коэффициенту трения ($\operatorname{tg} \varphi = f$).

По кинематическим признакам различают два вида трения: *трение скольжения*, при котором одна и та же поверхность данного тела перемещается по поверхности другого, и *трение качения*, при котором тело перемещается по другому телу под действием момента сил и, при этом в соприкосновение входят последовательно расположенные друг за другом элементы поверхности. Различают коэффициент трения в покое и коэффициент трения в движении, причем второй значительно меньше первого. Оба эти вида трения могут сочетаться друг с другом, например, при скольжении по поверхности сыпучих масс имеет место в той или иной мере и качение частиц.

По признаку состояния поверхностей трущихся тел и наличия жидкости на поверхностях различают: *сухое трение* и *жидкостное трение*.

В отличие от *внешнего трения*, возникающего между поверхностями неоднородных материалов (например, при контакте семян с металлической плоскостью в самотечных трубах), выделяют *внутреннее трение*, возникающее между поверхностями однородных тел (например, трение одного семени о другое). Коэффициент внутреннего трения, характеризующий подвижность сыпучего материала, равен тангенсу угла естественного откоса, под которым понимается наибольший угол, который может образовывать свободная поверхность сыпучего материала с горизонтальной плоскостью. Угол естественного откоса семян подсолнечника с ростом влажности и засоренности увеличивается.

Коэффициент внешнего трения семян высокомасличного подсолнечника в наибольшей степени зависит от состояния поверхности испытываемой плоскости, а также от состояния поверхности семян. С увеличением влажности семян коэффициент трения растет. Коэффициенты трения покоя и трения скольжения с увеличением давления растут и выше давления 0,5 кгс/см² стабилизируются.

В таблице приведены значения коэффициентов трения (в случае трения качения коэффициент трения равен тангенсу угла опрокидывания, который невелик и колеблется в пределах 5—18°).

Продукт	Угол естественного откоса, °	Коэффициент внешнего трения	
		по дереву	по стали
Семена подсолнечника	27...34	0,364...0,577	0,315...0,488
Рушанка подсолнечная	41...43,5	0,542	0,425
Ядро подсолнечное	42	0,477	0,384
Шелуха подсолнечная	46	0,674	0,466
Мятка подсолнечная	46	0,480	0,503

Аэродинамические свойства семян. В расчетах конвективных сушилок и аспирационных сепараторов важное место занимает определение аэродинамических сопротивлений, что требует знания аэродинамических свойств семян.

При сушке возможны три характерных состояния слоя семян при их взаимодействии с восходящим воздушным потоком:

– плотный слой (частицы неподвижны друг относительно друга) имеет место при относительно низких скоростях воздушного потока, так что аэродинамическое давление потока воздуха меньше веса слоя (перепад давления в слое меньше удельной нагрузки частиц к площади сечения слоя, перпендикулярного к направлению потока);

– псевдооживленный (кипящий) слой имеет место при скоростях потока, превышающих критическую скорость псевдооживления, при которой сравнивается аэродинамическое давление потока и вес слоя (перепад давления в слое равен удельной нагрузке частиц на единицу площади сечения слоя); в этом состоянии слоя имеет место движение частиц друг относительно друга, что визуально напоминает кипящую жидкость (отсюда и названия этого состояния слоя);

– унос частиц слоя (пневматический транспорт) имеет место при превышении скорости витания частиц; в этом случае и аэродинамическое давление становится больше веса частиц слоя.

Соответствуют рассмотренным состояниям аэродинамики двухфазного потока следующие основные аэродинамические свойства семян: скорость витания, удельное сопротивление слоя, скорость псевдооживления и некоторые другие, связанные с указанными величинами.

Скоростью витания (скоростью свободного падения) называется скорость, с которой частица равномерно движется в неограниченном пространстве газа или, в общем случае, жидкости; причиной этого является равенство действующих на частицу внешних сил.

Дифференциальное уравнение, описывающее процесс свободного падения (витания) тела массой m , весом G и плотностью ρ в безграничной среде с кинематической вязкостью ν и плотностью ρ_a , имеет следующий вид:

$$m \frac{dw_0}{dt} = G \frac{\rho - \rho_a}{\rho_a} - c_D f_m \frac{\rho_a w_0^2}{2}, \quad (1.60)$$

где c_D — коэффициент лобового сопротивления; f_m — площадь миделевого сечения, т.е. наибольшего сечения частицы, перпендикулярного направлению потока.

Рассматривая падение сферической частицы диаметром d и, следовательно, площадью миделевого сечения $f_m = \pi d^2/4$, можно утверждать, что по прошествии некоторого времени τ сферическая частица начнет па-

дать с постоянной скоростью $w_0 = w_{\text{внт}} = \text{const}$. В этом случае уравнение (1.60) примет следующий вид:

$$\frac{\pi d^3}{6} (\rho - \rho_{\text{в}}) g - c_D \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\rho_{\text{в}} w_{\text{внт}}^2}{2}. \quad (1.61)$$

В этом уравнении коэффициент лобового сопротивления зависит от режима обтекания, т.е.

$$c_D = f(\text{Re}), \quad (1.62)$$

где $\text{Re} = wd/\nu$ — критерий Рейнольдса.

Для шарообразных частиц вид функции (1.62) установлен следующий:
— при ламинарном режиме

$$(\text{Re} < 2) c_D = 24/\text{Re}; \quad (1.63)$$

— при переходном режиме

$$(\text{Re} = 2 \dots 500) c_D = 18,5 \text{Re}^{-0,6}; \quad (1.64)$$

— при турбулентном режиме

$$(\text{Re} > 500) c_D = 0,44. \quad (1.65)$$

Подставляя выражения для c_D в уравнение (1.61) можно получить расчетные формулы для определения скорости витания шарообразных частиц при соответствующем режиме обтекания.

Для частиц неправильной формы, с которыми в большинстве случаев имеют дело, в настоящее время не удается получить общего расчетного метода определения гидродинамических характеристик.

Таким образом, экспериментальное определение скоростей витания семян необходимо и обработку результатов целесообразно проводить в обобщенных переменных, которые можно определить, проведя подобные преобразования уравнения (1.61)

$$\frac{4}{3} \frac{\rho - \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}} \frac{gd^3}{\nu^2} = c_D \frac{d^2 w_{\text{внт}}^2}{\nu^2} \quad (1.66)$$

или

$$\text{Fe}^3 = c_D \text{Re}_{\text{внт}}^2, \quad (1.67)$$

где $\text{Fe} = \sqrt[3]{\frac{4 d^3 g (\rho - \rho_{\text{в}})}{3 \nu^2 \rho_{\text{в}}}}$ — критерий Федорова.

Из (1.67) следует

$$c_D = \frac{\text{Fe}^3}{\text{Re}_{\text{внт}}^2} \quad (1.68)$$

Разделяя на пневматическом порционном классификаторе полидисперсную смесь семян, получают ряд фракций, витающих при различных

$w_{\text{внт}}$ и характеризуемых различными d и ρ . Определив по этим данным Re , $Re_{\text{внт}}$ и c_D отыскивается зависимость $c_D = f(Re)$.

В частности, для семян подсолнечника получена зависимость

$$c_D = 126,35Re^{-0,62} \quad (1.69)$$

Характерно, что для диапазона изменения критерия Re в случае семян подсолнечника зависимость коэффициента лобового сопротивления шарообразных частиц носит автомодельный характер (т.е. $c_D = 0,44 = \text{const}$). Это подтверждает ранее сказанное о трудности расчетным путем учесть влияние на аэродинамические свойства отклонения формы частиц от шарообразной. Очевидно, в данном случае влияет не просто большая удельная поверхность частиц неправильной формы по сравнению с шарообразными, но и возникновение вращения частиц неправильной формы, что может вызвать дополнительную турбулизацию пограничного слоя и повлиять на характер зависимости коэффициента лобового сопротивления.

Подставляя полученное выражение для c_D в уравнение (1.68), получаем расчетную формулу для определения $Re_{\text{внт}}$, а следовательно, и скорости витания семян подсолнечника

$$Re_{\text{внт}} = 0,03Fe^{2,18} \quad (1.70)$$

Скорость витания, т.е. скорость потока воздуха, при которой семя имеет нулевое ускорение ($du/dt = 0$), можно определить несколько иначе из уравнения движения $m \frac{du}{dt} = mg - P$. Соответственно, для витания имеем $mg = P$. Аэродинамическое давление $P = kF\rho v^2$ (k — коэффициент сопротивления; ρ — плотность среды; F — миделево сечение; v — относительная скорость). Тогда $v_{\text{внт}} = \sqrt{\frac{mg}{kF\rho}}$. Если выразить аэродинамическое давление через коэффициент парусности k_n , $P = k_n m v^2$, то $v_{\text{внт}} = \sqrt{\frac{g}{k_n}}$.

Подсолнечные семена имеют $v_{\text{внт}} = 7,3 \dots 8,4$ м/с; $k = 0,51$; $k_n = 0,14 \dots 0,24$.

Важны следующие аэродинамические характеристики слоя семян — перепад аэродинамического давления в плотном и псевдооживленном слое, критическая скорость псевдооживления, расширение слоя.

Экспериментальные исследования аэродинамического сопротивления плотного слоя масличных семян в воздушном потоке обобщаются эмпирической формулой

$$\Delta P = A H_{\text{пл}}^n w^n, \quad (1.71)$$

где ΔP — сопротивление слоя, кгс/м² (мм в. ст.); $H_{\text{пл}}$ — высота плотного слоя семян, мм; w — скорость фильтрации воздуха, м/с; A, n — постоянные, значения которых для семян подсолнечника: $A = 0,53$ и $n = 1,46$.

Уравнение, описывающее течение потока в слое, может быть представлено в общем критериальном виде

$$Eu = CRe^a(H_{пл}/d_3)^b \cdot (D/d_3)^c, \quad (I.72)$$

где $Eu = \Delta P/\rho_s w^2$ — критерий Эйлера; $H_{пл} = M/F\rho$ — высота гипотетического слоя без воздушных промежутков, эквивалентного реальному по массе, м.

Перепад давления во всем диапазоне существования псевдооживленного слоя остается практически постоянным и теоретически определяется так:

$$\Delta P_{nc} = H(1 - \epsilon)(\rho - \rho_s)g \quad (I.73)$$

Приближенно удельный перепад аэродинамического давления (кг/м^2) в псевдооживленном слое

$$\Delta P/H_0 = 0,944 \rho_s, \quad (I.74)$$

где H_0 — высота исходного неподвижного слоя семян, м; ρ_s — объемная (насыпная) масса семян, кг/м^3 .

На практике имеются некоторые отклонения в пределах $\pm 15\%$, поэтому в общем случае уравнение, связывающее перепад давления в псевдооживленном слое с удельной нагрузкой материала на единицу площади газораспределительной решетки, имеет вид

$$\Delta P_{nc} = RM/F, \quad (I.75)$$

где R — коэффициент взвешивания.

Случай $R > 1$ в основном связывают с потерями на трение между частицами и стенками аппарата. Это чаще имеет место в аппаратах малого диаметра, и режим псевдооживления характеризуется поршнеобразованием. При неравномерном кипении слоя по сечению возможен режим каналаобразования, и наблюдают обычно заниженный перепад давления по сравнению с теоретическим $R < 1$.

Большое влияние на R оказывает газораспределительное устройство, но рост толщины слоя и скорости газа можно принять как факторы, определяющие величину R , при прочих равных условиях

$$R = 0,17 (ReH_{пл}/d_3)^{0,2}. \quad (I.76)$$

Границей между двумя такими отличающимися состояниями слоя зернистого материала, как неподвижное и псевдооживленное, является критическая скорость псевдооживления. Обычно для определения критической скорости псевдооживления пользуются общим подходом, согласно которому критической скорости псевдооживления соответствует скорость потока, при которой перепад давления в плотном слое сравнивается с перепадом давления в псевдооживленном слое.

Результаты исследований критической скорости псевдооживления целесообразно представлять в критериальном виде:

$$Re_{кр} = AFe^n \quad (1.77)$$

Как указывалось выше, вывести зависимость для $Re_{кр}$ и, соответственно, для $w_{кр}$ можно на основе уравнения течения в плотном слое, которое обычно можно несколько упростить (для достаточно большого сечения слоя пристеночный эффект исключается: $c = 0$; экспериментально установлена линейная зависимость перепада давления от высоты слоя: $b = 1$)

$$Eu = CRe^a(H_{пл}/d) \quad (1.78)$$

и уравнения, описывающего сопротивление псевдооживленного слоя

$$\Delta P_{пс} = R(M/F)g \quad (1.79)$$

Подставляя уравнение (1.79) в (1.78) и проводя подобные преобразования, получим уравнение в обобщенных переменных

$$Re_{кр} = [(3/4)(R/C)]^{1/(2+a)} Fe^{3/(2+a)} [\rho/(\rho - \rho_w)]^{1/(2+a)} \quad (1.80)$$

В условиях псевдооживления семян газовым потоком ($\rho \gg \rho_w$) последним членом уравнения — симплексом плотностей семян и газа — можно пренебречь.

В результате обработки экспериментальных данных получены следующие критериальные зависимости для определения скорости псевдооживления семян подсолнечника:

— для влажности семян $W \leq W_f$

$$Re_{кр} = 0,03 Fe^{1,83} \quad (1.81)$$

— для влажности семян $W > W_f$

$$Re_{кр} = 0,03 (W/W_f) Fe^{1,83}, \quad (1.82)$$

где W/W_f — симплекс влажности, учитывающий влияние гигроскопической влажности $W_f = 26\%$, при которой на поверхности семян появляется свободная влага.

С учетом уравнения (1.76) для R можно записать уравнение (1.80) в более общей форме

$$Re_{кр} = (0,1275/C)^{1/(1,8+a)} Fe^{3/(1,8+a)} (H_{пл}/d)^{1/(9+5a)} [\rho/(\rho - \rho_w)]^{1/(2+a)} \quad (1.83)$$

Для газового псевдооживления $\rho/(\rho - \rho_w) = 1$, а также с учетом близости к нулю показателя степени при относительной высоте слоя, связь параметров аэродинамики плотного слоя и критической скорости псевдооживления получают следующие: $A = (0,1275/C)^{1/(1,8+a)}$; $n = 3/(1,8+a)$, соответствующие уравнению (1.81). Соответственно, $a = -0,16$; $C = 40$,

что близко к известным экспериментальным данным по аэродинамике слоя семян подсолнечника.

Имея критериальные уравнения для критической скорости псевдооживления и скорости витания, можно осуществить расчет расширения псевдооживленного слоя от скорости потока, что важно при определении размеров по высоте аппаратов с псевдооживленным слоем. Известно, что изменение порозности псевдооживленного слоя от скорости потока описывается логарифмическим уравнением.

Таким образом, уравнение зависимости имеет вид

$$\ln \epsilon = L + N \ln Re. \quad (I.84)$$

Для определения двух неизвестных коэффициентов уравнение (I.84) записывается для двух крайних известных случаев (начало псевдооживления $\epsilon = 0,4$ и начало уноса $\epsilon = 1$)

$$\ln 0,4 = L + N \ln Re_{кр} \quad (I.85)$$

$$\ln 1 = L + N \ln Re_{внт} \quad (I.86)$$

Из (I.86)

$$L = -N \ln Re_{внт} \quad (I.87)$$

Далее, вычитая из (I.85) (I.86), получаем

$$\ln 0,4 = N (\ln Re_{кр} - \ln Re_{внт}) \quad (I.88)$$

и с учетом ранее приведенных уравнений для $Re_{кр}$ (I.81) и $Re_{внт}$ (I.71) определяем N

$$N = 0,3 \ln Fe. \quad (I.89)$$

Зная начальную высоту плотного слоя H_0 и порозность ϵ_0 , после расчета ϵ по уравнению, полученному из (I.84) с учетом (I.87) и (I.89)

$$\ln \epsilon = 0,3 \ln Fe \ln \frac{Re}{Re_{внт}}, \quad (I.90)$$

можно определить высоту псевдооживленного слоя

$$H = H_0 (1 - \epsilon_0) / (1 - \epsilon). \quad (I.91)$$

Для определения ϵ_0 для слоя семян подсолнечника рекомендуется эмпирическая зависимость $\epsilon_0 = 6,22 \cdot 10^{-5} W^2 + 2,81 \cdot 10^{-3} W + 0,419$, а для расширенного слоя $\epsilon = 1,07 \cdot \epsilon_0 (Re/Re_{кр})^{0,409}$

Гигроскопические свойства семян. Масличные семена являются капиллярно-пористыми коллоидными телами, поэтому для них характерны все формы связи влаги, но основное место занимают физико-химическая (моно- и полимолекулярная адсорбция) и физико-механическая (влага микро- и макрокапилляров).

Различные формы связи влаги с материалом характеризуются энергией связи — т.е. работой изотермического обратимого отрыва одного моля воды без изменения состава вещества

$$E = RT \ln p_s/p_0 = -RT \ln \varphi, \quad (1.92)$$

где R — газовая постоянная ($R = 8,31 \cdot 10^3$ Дж/моль \cdot К); T — абсолютная температура, К; p_s — давление насыщенного пара свободной воды; p_0 — парциальное давление пара воды (при той же температуре) над материалом для данных гигротермических условий; φ — относительная влажность воздуха.

Из анализа уравнения (1.92) следует, что чем больше φ и, соответственно, прямо связанная с ней равновесная влажность материала (в пределе $\varphi = 1$ соответствует гигроскопической влажности материала W_r , при которой в материале появляется свободная влага), тем меньше энергия связи влаги с материалом (в пределе при $\varphi = 1$, $E = 0$). Соответственно, при уменьшении φ равновесная влажность снижается, а энергия связи влаги с материалом возрастает.

Таким образом, гигроскопические свойства материалов представляют собой устанавливаемые экспериментально зависимости равновесной влажности при различных температурах и относительных влажностях воздуха. Они дают возможность не только предсказать характер процесса при контакте с влажным воздухом (сушка или увлажнение), регулировать термо-влажностные условия процесса для достижения требуемой влажности материала, но и производить расчет энергии связи влаги с материалом; это позволяет прогнозировать направление влагопереноса при контактировании разнородных материалов и точнее вести расчет энергозатрат.

Экспериментально гигроскопические свойства определяют тензиметрическим методом, помещая семена на достаточно длительный срок над растворами солей или кислот различной концентрации. Это обеспечивает определенную относительную влажность воздуха в закрытом объеме для достижения равновесной влажности семян при заданных φ и T .

Влагообмен семян с окружающим влажным воздухом может идти в двух направлениях: при $p_s > p_0$ происходит испарение, сушка, десорбция; при $p_s < p_0$ происходит конденсация, увлажнение, сорбция. Соответственно получают две равновесные кривые, называемые изотермой десорбции и изотермой сорбции. Явление отличия этих изотерм называют сорбционным гистерезисом.

Чем выше температура, тем ниже равновесная влажность материала. Для масличных материалов отмечено, что чем ниже масличность, тем выше равновесная влажность. Одно из важнейших направлений использования данных по равновесным влажностям масличных семян — установление безопасной влажности при хранении (она не должна быть выше критической, соответствующей равновесной влажности воздушно-сухо-

го состояния семян при $\varphi = 0,7$). Таким образом, для безопасного хранения предпочтительны низкие температуры в хранящейся семенной массе. Для высокомасличных семян при закладке их на хранение требуется обеспечить низкую влажность.

Для семян подсолнечника обобщены данные по равновесной влажности при сорбции

$$W_p = \frac{1,16}{(1 - 0,009L) \left(\frac{2,9}{\varphi^{0,21}} - 1 \right)} \quad (1.93)$$

при десорбции

$$W_p = \frac{1,61}{(1 - 0,009L) \left(\frac{3,04}{\varphi^{0,21}} - 1 \right)} \quad (1.94)$$

Обобщение проведено с использованием уравнения, связывающего основные технологические характеристики семян подсолнечника независимо от их масличности

$$M_x/M_c = 1/(1 - 0,009L), \quad (1.95)$$

где M_c, M_x — соответственно масличность семян и ядра, % на абсолютно сухое вещество; L — лузжистость воздушно-сухих семян подсолнечника, %.

Таким образом, по приведенным уравнениям можно рассчитывать равновесную влажность не только семян подсолнечника различных сортов, отличающихся масличностью и лузжистостью, но и лузги ($L = 100\%$) и ядра ($L = 0\%$).

Теплофизические свойства семян. Расчет теплофизических свойств семян подсолнечника осуществляется по соотношениям

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}; \quad \lambda = 3,35 \cdot 10^{-6} \left[\frac{100W}{100 - W} + 125 \right] \left(\frac{t_p}{273} + \rho + 225 \right);$$

$$c = 0,419 \cdot 10^{-3} [(100 - W)(0,16M_c + 0,04t + 32,2) + 100W].$$

Здесь a , м²/ч; λ , кДж/(м · ч · град), c , кДж/(кг · град) — коэффициенты, соответственно, температуропроводности, теплопроводности и удельной теплоемкости.

ГЛАВА 1. КОНСТРУКЦИИ СУШИЛОК И МЕТОДЫ ИХ РАСЧЕТА

Сушка семян — наиболее важный технологический процесс послеуборочной подготовки масличных семян к хранению и переработке.

К сушильным установкам предъявляются следующие требования:

— высокая производительность (поскольку имеется тенденция к укрупнению предприятий по переработке маслосемян и сокращению сроков уборки урожая);

— гибкая схема, позволяющая снимать при сушке в потоке требуемое количество влаги;

— не должны травмироваться семена при пониженной прочности плодовой оболочки высокомасличных сортов семян;

— сушильное устройство и применяемые в нем режимы сушки должны обеспечивать высокое качество высушиваемых семян, их липидной и белковой составляющих.

В настоящее время семена подсолнечника сушат на токах сельхозпредприятий, на хлебоприемных и маслодобывающих предприятиях.

В сельском хозяйстве применяются, главным образом, барабанные сушилки типа СЗБ. На хлебоприемных предприятиях используются шахтные зерносушилки типа ДСП, и в последние годы получают распространение рециркуляционные зерносушилки РД 2×25, «Целинная»; осуществляется перевод шахтных сушилок на рециркуляционный способ сушки.

На предприятиях масложировой промышленности, начиная с 50-х гг., наиболее распространенными стали барабанные сушилки, удельный вес которых в общей сушильной мощности сырьевых хозяйств маслозаводов в настоящее время составляет примерно 70%, их количество достигает 500 шт.

По способу подвода тепла все применяемые сушилки для семян подсолнечника являются конвективными; различаются они между собой состоянием слоя и организацией контактирования его с сушильным агентом.

Рассмотрим наиболее распространенные и перспективные сушилки для масличных семян.

Барabanная сушилка

Барabanная сушилка (рис. 1.1) представляет собой горизонтально установленный цилиндр (сушильный барабан) 2 наружным диаметром 1760 мм и длиной 9000 мм. На барабан насажено два бандаж 3, которыми он опирается на две пары гладких опорных роликов 6, установленных на фундаменте. При помощи специального уплотнения 4 к передней торцевой части барабана присоединен патрубок для подачи сушильного агента — дымовых газов (разбавленных воздухом), поступающих из подземного газохода от топки. Для исключения возможности попадания семян в газоход на патрубке установлена ловушка с клапаном-мигалкой 7. На случай загорания семян и предотвращения при этом взрыва на патрубке установлен взрывной клапан 8. В патрубок врезана наклонная течка 5 для подачи влажных семян в сушильный барабан. Задний торцевой конец барабана оканчивается в выводной расширительной камере 1; при этом в торцевой разгрузочной части барабана установлено подпорное кольцо с ковшами для вывода сухих семян в расширительную камеру, выход из которой представляет собой клапан-мигалку с нижерасположенным транспортным шнеком для передачи сухих семян на охлаждение.

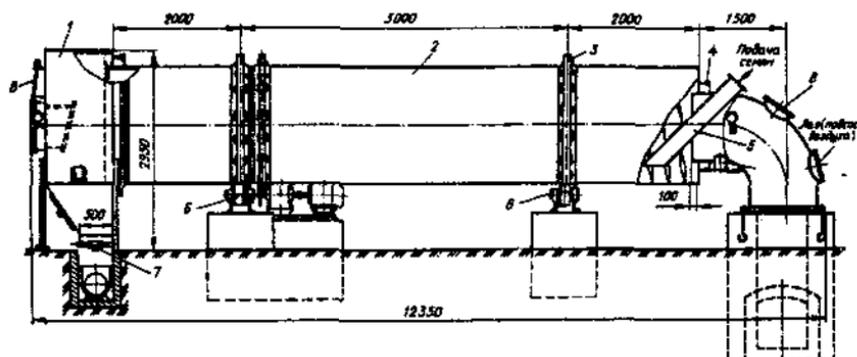


Рис. 1.1. Общий вид барабанной сушилки

Патрубок расширительной камеры, ось которого совпадает с осью барабана, служит для подсоединения газохода к всасывающему патрубку центробежного вентилятора типа ВРН № 10 с приводом от электродвигателя мощностью 10 кВт. Сушильный агент, просасываемый вентилятором через сушильный барабан, затем выбрасывается через циклон в

атмосферу. Таким образом, движение семян и сушильного агента происходит в сушильном барабане прямоточно.

Основной частью сушилки является сушильный барабан (рис. 1.2), который в базовой конструкции барабанной сушилки устанавливается на роликах строго горизонтально.

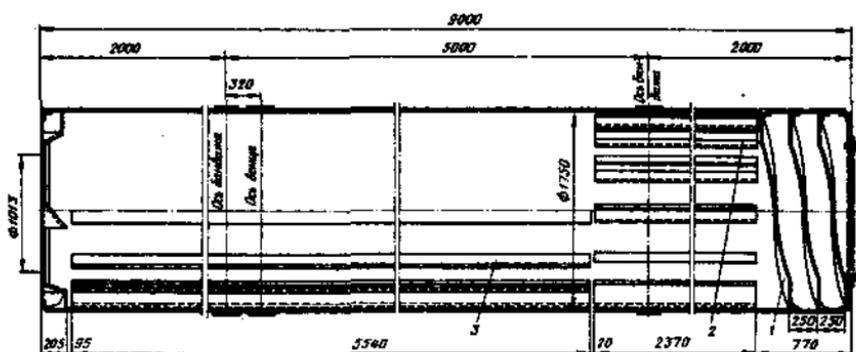


Рис. 1.2. Конструкция барабана сушилки

Для приемки семян внутри сушильного барабана установлен двухзаходный шнек 1 с шагом 500 мм и длиной 770 мм, выполненный из листового железа толщиной 3 мм. Основное назначение двухзаходного шнека — предотвратить попадание семян в газоход.

За шнеком расположена первая часть подъемной системы 2 (длиной 2370 мм). Она представляет собой 12 уголков, приваренных равномерно по внутренней окружности барабана. К уголкам приварены согнутые планки со специальным профилем (см. рис. 1.3), называемые лопатками. Конструкция лопаток должна обеспечить ссыпание с них семян при вращении барабана таким образом, чтобы траектории ссыпавшихся семян по возможности равномерно занимали поперечное сечение барабана.

Вторая часть подъемной системы следует за первой и имеет длину 5540 мм (см. поз. 3 на рис. 1.2). Она также состоит из 12 продольных уголков с прикрепленными к ним (болтами) лопатками, но 6 уголков с лопатками приварены на равном расстоянии друг от друга по вну-

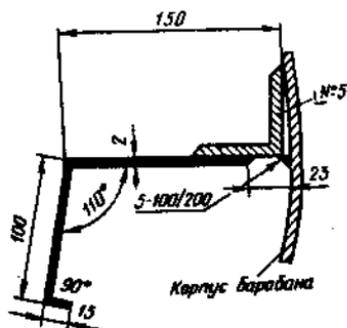


Рис. 1.3. Устройство лопатки

тренному периметру барабана, а шесть — на стойках, установленных в поперечном сечении барабана, на расстоянии, равном примерно половине радиуса.

Барабан приводится в движение от электродвигателя мощностью 7 кВт. Существует несколько вариантов кинематики привода барабана. Частота вращения барабана в базовом варианте небольшая и составляет 6 об/мин. Ранее применявшийся контрпривод в более поздних конструкциях заменен на редуктор. Также ранее применявшийся способ приведения барабана в движение через задний гладкий опорный ролик (при котором наблюдалась пробуксовка ролика по бандажу, что вызывало неравномерность вращения барабана и даже его остановку) в настоящее время заменен.

На барабан рядом с бандажом насажен зубчатый венец цилиндрической шестерни, который находится в зацеплении с ведущей шестерней, расположенной на выходном валу редуктора. Таким образом происходит передача движения от электродвигателя через редуктор и пару цилиндрических зубчатых шестерен. Однако открытая зубчатая передача подвергается интенсивному износу, ремонт затруднен, а изготовление и монтаж цилиндрической зубчатой шестерни, особенно большого диаметра, требуют больших затрат.

Предложенный вариант цепного привода более удачен. В данном случае цепью с шагом 50,8 мм охвачен наружный периметр барабана, и сама она фиксируется на поверхности барабана сваркой. В зацеплении

с цепью находится звездочка с числом зубьев, равным 21, которая насажена на выходной вал редуктора. Такая система привода обеспечивает стабильное вращение барабана независимо от его нагрузки, а ремонт ее связан чаще всего с заменой изношенной цепи, что требует меньше затрат.

Конструкция узлов уплотнения между вращающимся барабаном и газоходом на входе и при выходе в расширительную камеру представляет собой упрощенную конструкцию лабиринтного уплотнения (рис. 1.4).

Барабанная сушилка работает следующим образом. Семена поступают внутрь вращающегося бараба-

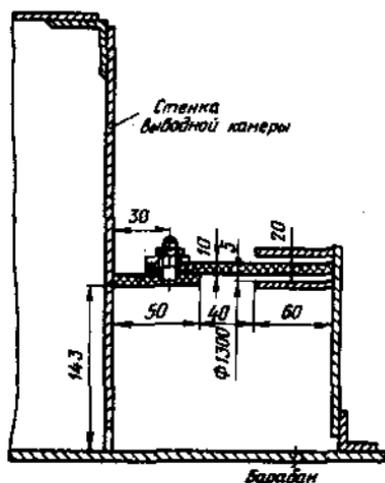


Рис. 1.4. Конструкция уплотнения барабанной сушилки

на по наклонной течке, захватываются двухзаходным шнеком и транспортируются вдоль барабана к первой части подъемной системы.

Сушильный агент (смесь дымовых газов и воздуха), поступающий через газоход и транспортируемый внутри барабана под действием разрежения, создаваемого вентилятором, подхватывает семена, ссыпающиеся с лопаток подъемной системы, и транспортирует их вдоль барабана на вторую часть подъемной системы и далее к выходу из барабана. Скорость сушильного агента в барабане (примерно 2 м/с) не превышает скорости витания компонентов производственной смеси семян подсолнечника. Это приводит к тому, что семена при их падении с лопастей сносятся потоком на относительно небольшое расстояние, что обуславливает многократное повторение цикла «подъем—падение» за время (10—20 мин) нахождения семян в сушильном барабане. Таким образом, сушка семян в барабанной сушилке происходит конвективным способом.

Из-за кратковременности полета семян влага удаляется в основном из лузги, а при отлежке в слое влага из ядра диффундирует в лузгу. Такой аэродинамический способ перемещения семян вдоль барабана из-за известной неравномерности семян по размерам и плотности определяет неравномерность семян по аэродинамическим свойствам, что дает значительный разброс по времени пребывания отдельных семян в барабанной сушилке и, соответственно, неравномерность сушки отдельных семян.

Интенсивность процесса сушки определяется величиной переданного тепла, которое, согласно схеме (рис. 1.5), передается тремя путями.

Во-первых, через поверхность падающих с лопаток семян (Q^I). Во-вторых, через наружную поверхность слоя семян, находящихся на лопатках и в завале (Q^{II}), и за счет теплопроводности при контакте слоя семян с более нагретыми деталями внутреннего устройства и обечайкой барабана (Q^{III}).

Наибольшая часть тепла и отвод испарившейся влаги происходит при ссыпании семян с лопаток.

Рассмотрим методику расчета взаимодействия потока с падающей с лопатки семянки. Длина дуги траектории семянки и скорость ее полета определяются уравнениями 1.1—1.13.

$$S = \frac{v_B^2}{2g} \ln \left\{ \frac{2v_{x0}^2}{v_B^2} [\xi(\alpha_A) + \xi(\alpha)] \right\}, \quad (1.1)$$

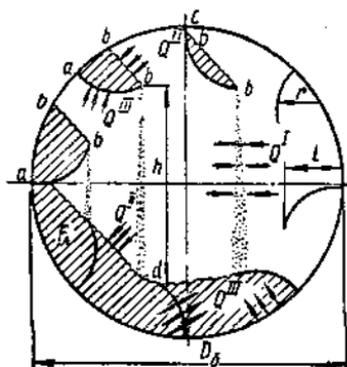


Рис. 1.5. Схема передачи тепла в барабанной сушилке

где $\xi(\alpha_A) = \frac{v_B^2}{2v_{x0}^2} - \xi(\alpha_0)$ и $\xi(\alpha) = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha} + \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi + \alpha}{4} \right) \right]$ — параметры;

$$v_x = 2 \left[\xi(\alpha_A) + \xi(\alpha) \right] \frac{v_B^2}{v_{x0}^2}, \quad (1.2)$$

$$v = \frac{v_x}{\cos \alpha}, \quad (1.3)$$

где S — длина дуги траектории семянки; v_B — скорость витания семянки; v_{x0} — начальное значение относительной скорости семянки; v_x — относительная горизонтальная составляющая скорости семянки; α_0 — начальное значение угла между направлением скорости потока и скорости семянки.

В связи с тем, что в полете семянки угол между направлениями потока и полета непрерывно меняется, рекомендуется вести расчет по достаточно малым участкам дуги полета, чтобы в этих пределах допущение о постоянстве α и v принять с требуемой точностью. Тогда $\Delta x_i = (\cos \alpha_{-p})_i \Delta S_i$;

$\Delta y_i = (\sin \alpha_{-p})_i \Delta S_i$; $\Delta t_i = \left(\frac{1}{v_{-p}} \right)_i \Delta S_i$ и элементы траектории суммируются:

$$x_m = \sum_0^{m-1} \Delta x_i; \quad y_m = \sum_0^{m-1} \Delta y_i; \quad t_m = \sum_0^{m-1} \Delta t_i.$$

После прохождения барабана семена попадают в расширительную камеру и из нее через клапан-мигалку в шнековый транспортер, который направляет их к охлаждающей камере.

Охлаждающая камера, работающая совместно с барабанной сушилкой, является аппаратом шахтного типа (описание и схемы шахтной сушилки приведены ниже) и представляет собой металлическую камеру прямоугольного сечения. В ней в шахматном порядке в поперечном сечении расположены зонты, каждый из которых имеет один открытый конец, а другой — закрытый. Открытые и закрытые концы зонтов чередуются через ряд. Нагнетательная камера с вентилятором расположена и присоединена к одному из торцов камеры с выходами зонтов. Соответственно, с противоположного торца камеры зонты с открытыми концами напрямую не сообщаются с нагнетательной камерой. В установке применяется вентилятор типа ВРН № 6 с приводом от электродвигателя мощностью 7,5 кВт.

Охлаждающая камера работает следующим образом. Высушенные горячие семена проходят из приемного бункера над охлаждающей камерой и движутся в свободном пространстве камеры между зонтами. В рабочем состоянии все свободное пространство камеры заполнено семе-

нами, которые непрерывно движутся вниз, где их выпуск регулируется устройством, представляющим собой качающуюся раму с прорезями.

Охлаждающий воздух нагнетается вентилятором в камеру через открытые концы зонтов. Поскольку противоположные концы зонтов закрыты, поток воздуха пересекает движущуюся массу семян между зонтами и, проходя через смежные ряды зонтов с открытыми концами на противоположном торце, воздух выходит в окружающую среду. При пересечении потоков охлаждающего воздуха и горячих сухих семян происходит процесс теплообмена (охлаждение семян). Толщина слоя обрабатываемых семян невелика (она практически равна расстоянию между рядами смежных зонтов с противоположными открытыми концами), и это определяет достаточную интенсивность процесса.

Техническая характеристика барабанной сушилки

Производительность, т/сут	180
Съем влаги, %	4–5
Температура сушильного агента, °С	200–300
Габаритные размеры, мм (ширина × длина × высота)	2200 × 12350 × 2950
Масса сушилки, кг	15 300
Металлоемкость на 1 кг испаренной влаги (средняя), кг/кг	31,5
Расход электроэнергии на 1 кг испаренной влаги, кВт · ч/кг	0,05–0,089
Расход условного топлива на 1 кг испаренной влаги, кг/кг	0,3

Обычно к каждой барабанной сушилке устанавливают две последовательно работающие охладительные камеры.

К достоинствам барабанной сушилки следует отнести: быстроту сушки; относительную простоту конструкции; небольшую высоту (проще обслуживание и монтаж); относительно низкую стоимость; высокий термический КПД.

Вместе с тем, у барабанной сушилки имеются и недостатки: малое использование рабочего объема барабана; относительно высокий расход электроэнергии; большая занимаемая площадь; относительно низкое качество сушки (особенно по равномерности сушки).

Пуск сушилки осуществляют после проверки ее технической исправности и наличия средств пожаротушения. При пуске вначале включают вентилятор, затем пускают в работу барабан, после чего открывают шибер на газоходе к сушилке. Подача семян идет непрерывным потоком и регулируется с помощью шибера бункера; при этом в бункере должен постоянно находиться слой семян, что предохраняет от подсоса воздуха и соответствующего снижения температуры сушильного агента. Подача семян в

сушилку должна быть такая, чтобы заполнение барабана было максимально возможным, что соответствует 20—25% вместимости барабана.

Температурный режим сушки регулируется в зависимости от влажности и температуры семян, которые контролируются по пробам, отобраным через люк расширительной камеры. Температуру пробы семян замеряют с помощью максимального ртутного термометра путем погружения его на 8—10 мин в пробу семян, помещенную в деревянный ящик вместимостью 750—1000 г. Если нагрев семян не достиг температуры 45—50°С, то возможно еще повысить температуру сушильного агента.

После выхода на требуемый температурный режим контролируют влажность семян. Если она выше 7% (требуемой влажности), то это означает, что исходная влажность семян повышенная, и их надо сушить более чем за один пропуск через барабанную сушилку.

В процессе работы сушилки контролируются температурный режим, работа вентилятора и состояние подшипников, а также поддерживается уровень семян в расширительной камере (ниже образующей барабана на 10—15 см).

Аварийная ситуация возникает в случае загорания семян в сушилке. При этом надо немедленно перекрыть шибер на газоходе подачи топочных газов в сушилку, выключить вентилятор и перекрыть поступление семян в сушильный барабан. Охладительные камеры также останавливают. Загоревшиеся семена выпускают из сушилки и заливают водой.

При остановке сушилки в нормальном режиме эксплуатации перекрывают подачу семян в сушилку, прикрывают наполовину шибер вентилятора, выключают привод сушилки и загрузочный и разгрузочный шнеки. Затем перекрывают шибер на газоходе подачи топочных газов в сушилку, и после продувки сушильного барабана в течение 30 мин наружным воздухом (который засасывается через клапан-мигалку), выключают вентилятор. Если остановка сушилки кратковременная (до одних суток), то просушиваемые семена можно оставлять в барабане.

Расчеты барабанной сушилки. Статика процесса сушки маслосемян в сушилке любой конструкции рассчитывается с помощью I—d-диаграммы. В этом расчете определяют количество потребного тепла для сушки и количество потребного сушильного агента. По этим данным могут быть подобраны вентиляторы и калориферы при применении нагретого воздуха или потребное количество дымовых газов.

При использовании для сушки маслосемян барабанных сушилок расход топлива (кг/ч)

$$B = (1,1 \dots 1,15) [G_1 c_1 (t_2 - t_1) + G_1 (w_1 - w_2) (I_2 - I_1) / (x_2 - x_1) (100 - w_2)] / Q_{p,}, \quad (1.4)$$

где G_1 — количество сырья, подаваемого на сушку, кг/ч; c_1 — удельная теплоемкость высушиваемого сырья, кДж/(кг·К); t_2 и t_1 — конечная и

начальная температура высушиваемых маслосемян, °C; w_1 и w_2 — начальная и конечная влажность высушиваемых маслосемян, %; χ_2 и χ_1 — конечное и начальное влагосодержание воздуха, кг/кг сухого воздуха; I_2 и I_1 — конечная и начальная энтальпия воздуха, кДж/кг; Q_p — низшая теплота сгорания применяемого топлива, кДж/кг.

Методика расчета производительности барабанной сушилки базируется на критериальном уравнении, которое для сушки семян подсолнечника после преобразования относительно G имеет вид

$$G = AE^{-0,42} Ko^{-0,5} Re^{0,5} L^{0,46} \left(\frac{4a_m}{d_3^2} \right)^{0,54} G_a^{0,54} \theta^{0,3} Fr^a (\sin \beta)^b, \quad (1.5)$$

где G — производительность массовая по семенам, кг/сек; $E = \frac{u_1 - u_2}{u_2}$ — симплекс влагосодержания; u_1, u_2 — начальное и конечное влагосодержание семян ($u = W/(100 - W)$ — связь влагосодержания с влажностью), кг/кг; $Ko = \frac{\rho u_1}{c_m t_c^n}$ — критерий Коссовича (ρ — удельная теплота испарения влаги, кДж/кг; c_m — удельная теплоемкость влажных семян, кДж/кг · град; t_c^n, t_c^k — температура сушильного агента на входе и выходе из сушилки, °C); $Re = \frac{v_r \rho_r d_3}{\mu}$ — критерий Рейнольдса (v_r, ρ_r — массовая

удельная скорость сушильного агента, кг/м²с; d_3 — эквивалентный диаметр семени (диаметр шара, равновеликого по объему семени), м; μ — коэффициент динамической вязкости сушильного агента, Па · с);

$\theta = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{t_c^n - \vartheta_2}$ — симплекс температур (ϑ_1, ϑ_2 — начальная и конечная температура семян; принято $\vartheta_1 = 20^\circ\text{C}$ и $\vartheta_2 = t_c^n - 15$); $Fr = \frac{n^2 D_6}{1800}$ — число Фруда (n — частота вращения барабана, об/мин; D_6, l_6 — диаметр и длина барабана, м); $L = 0,785 D_{62} v_r$; ρ_r — массовый расход сушильного агента, кг/с; a_r — коэффициент температуропроводности семян, м²/с; $G_a = 0,785 \psi D_6^2 l_6$; $\rho_{нас}$ — масса материала в барабане, кг ($\rho_{нас}$ — насыпная плотность слоя семян, кг/м³; ψ — коэффициент заполнения барабана, доли).

Определение ψ проводится для семян подсолнечника по эмпирической формуле $\psi \cdot 10^3 = (110 - 30,3\psi_r v_r - 57\beta + 15,7\beta \rho_r v_r) \cdot \ln(8,8 - 4\beta) - 1,62\beta \rho_r v_r n + 6,46\beta \rho_r v_r + 58,8\beta n + 3,12n \rho_r v_r - 0,107\beta t_c^n + 4,5\beta - 12,5\rho_r v_r - 11,4n + 0,2t_c^n - 8,6$.

Значения коэффициентов A, a, b зависят от угла наклона барабана β к горизонту (отрицательный угол β означает наклон барабана в сторону загрузки, и, как показали исследования Куцаковой В. Е., установка ба-

рабана с отрицательным углом наклона позволяет интенсифицировать процесс сушки в барабанной сушилке) и приведены ниже:

β , град	A	a	b
+3	$3,8 \cdot 10^{-2}$	0,125	0
0	$5,8 \cdot 10^{-2}$	0,17	0
-1...-5	$5,9 \cdot 10^{-2}$	0,21	0,17

Для облегчения расчета критериальное уравнение (1.5) может быть преобразовано к виду

$$G = \lambda \Pi r_r v_r D_6^2 t_c^{0,5}, \quad (1.6)$$

$$\text{где } \Pi = \left[\frac{t_c^* - 35}{t_c^* - t_c^* + 15} \right]^{0,3}; \lambda = \frac{A 0,785 (4 a_m \psi I_6 \rho_{\text{нас}})^{0,54} c_m^{0,5} K_u \left(\frac{n^2 D_6}{1800} \right)^n (\sin \beta)^6}{r^{0,5} \mu^{0,54} d^{0,54}} \left(K_u = \left(\frac{u_2}{u_1 - u_2} \right)^{0,42} \frac{1}{u_1^{0,5}} \right).$$

Кинетические зависимости сушки дополняются уравнением теплового баланса

$$G = \frac{0,785 \rho_r v_r D_6^2 c_r (t_c^* - t_c^k)}{1,1 [c_m (1 + u_1) (t_c^k - 35) + r (u_1 - u_2)]}, \quad (1.7)$$

где c_r — средняя удельная теплоемкость сушильного агента, кДж/(кг · град).

Решение системы уравнений кинетики (1.6) и теплового баланса (1.7) позволяет определить G и t_c^k по заданным остальным переменным.

Аэродинамический расчет барабанной сушилки заключается в определении напора потока сушильного агента через сушилку

$$\Delta p = \xi \frac{\rho_r v_r^2}{2}, \quad (1.8)$$

где ξ — коэффициент сопротивления.

$$\xi = \frac{2 c_f I_6 \sqrt{\pi}}{[(1 - \psi) S_n]^{0,5}} \left(1 + \frac{a_n}{\pi [(1 - \psi) S_n]^{0,5}} \right) + \frac{c_D t_{cp} I_6 \rho_{\text{нас}} a_n \omega (D_6 - a_n) S_m}{m_m (1 - \psi) S_n}, \quad (1.9)$$

где c_f — коэффициент трения потока; $S_n = \frac{\pi}{4} D_6^2$ — площадь поперечного сечения барабана, м²; a_n — ширина лопатки подъемной системы барабана, м; ψ — степень заполнения рабочего объема барабана семенами; c_D — коэффициент лобового сопротивления семян (определяется по уравнению (1.70)); t_{cp} — среднее время полета семени ($t_{cp} = 0,6$ с); $\omega = \pi/30$ — угловая скорость вращения барабана, с⁻¹; $S_m = \frac{\pi}{4} d_s^2$ — площадь попереч-

ного сечения семени, m^2 ; $m_m = \frac{\pi d_s^3}{6} \rho$ — масса одного семени, кг; ρ — плотность семян, $кг/м^3$.

Коэффициент трения потока в турбулентном режиме ($Re > 10^3 \dots 10^4$) определяется по уравнению

$$c_f = 0,169 \left(\frac{d_r}{a_n} \right)^{-0,327}, \quad (1.10)$$

где d_r — гидравлический диаметр сечения барабана, заполненного семенами.

$$d_r = \frac{4S_n(1-\psi)}{\pi D_6} = D_6(1-\psi) \quad (1.11)$$

Критерий Рейнольдса потока в барабане определяется по формуле

$$Re = v_r d_r / \nu = v_r D_6 (1-\psi) / \nu \quad (1.12)$$

Мощность (кВт) электродвигателя барабанной сушилки определяется по формуле

$$N = An / 1000 \eta, \quad (1.13)$$

где $A = A_1 + A_2 + A_3$ — полная работа, совершаемая за один оборот барабана, Дж; n — частота вращения барабана, c^{-1} ; η — КПД передачи ($\eta = 0,75 \dots 0,8$).

Работа (Дж), затрачиваемая на преодоление трения качения барабана по опорным роликам за один оборот барабана

$$A_1 = 2\pi D_6 (G_n + G_6) \mu / D_p \cos \alpha, \quad (1.14)$$

где D_6 — диаметр барабана, м (рис. 1.6); D_p — диаметр ролика, м; μ — коэффициент трения качения (сталь по стали, $\mu = 0,05$); α — угол, образованный направлениями сил, действующих на ролик, и вертикальных сил (G_n и G_6); G_n — сила тяжести продукта, Н ($G_n = m_n g$); G_6 — сила тяжести барабана, Н ($G_6 = m_6 g$).

Работа (Дж), затрачиваемая на преодоление скольжения цапф опорных роликов в подшипниках за один оборот барабана

$$A_2 = \pi D_p D_6 (G_n + G_6) f_{ск} / D_p \cos \alpha, \quad (1.15)$$

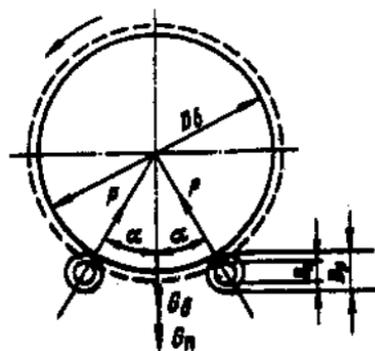


Рис. 1.6. Схема сушильного барабана на опорных роликах

где D_0 — диаметр цапфы опорного ролика, м; $f_{ск}$ — коэффициент трения скольжения ($f_{ск} = 0,12$).

Работа, затрачиваемая на подъем продукта внутри барабана

$$A_3 = \pi D G_n f_c, \quad (1.16)$$

где D — внутренний диаметр барабана, м; f_c — коэффициент трения скольжения продукта по внутренней поверхности барабана ($f_c = 0,28 \dots 0,53$).

Шахтные сушилки

В последние годы для сушки семян подсолнечника начали применяться зерновые шахтные сушилки типа ДСП-32-от в металлическом исполнении с шахтой открытого типа. Другая конструкция этой сушилки — железобетонная, встроенная в сушильно-очистительную башню элеватора, — более распространена на хлебоприемных предприятиях. Цифра 32 в обозначении типа сушилки означает плановую производительность т/ч (соответствует снижению влажности пшеницы с 20 до 14%).

Шахтная сушилка ДСП-32-от по способу сушки принципиально не отличается от менее совершенных шахтных сушилок с небольшой производительностью (ВТИ, Рандольф), ранее применявшихся в отрасли. Процесс сушки в шахтных сушилках производится в плотном, медленно опускающемся слое семян, обтекающем на своем пути в шахматном порядке расположенные горизонтально короба, через которые подается и отводится сушильный агент, пронизывающий движущийся слой на относительно небольшом расстоянии между смежными коробами.

Сушильная установка ДСП-32-от (рис. 1.7) состоит из собственно шахтной сушилки 4, топки 1 с пультом управления сушилкой в специальном помещении и вентиляторов 2, 7, 8 (два из которых предназначены для подачи сушильного агента в зоны сушки шахтной сушилки, они расположены в здании топки; один вентилятор смонтирован на открытом фундаменте рядом с шахтной сушилкой и предназначен для подачи охлаждающего воздуха в зону охлаждения семян шахтной сушилки).

Шахтная сушилка состоит из двух вертикальных, параллельно установ-

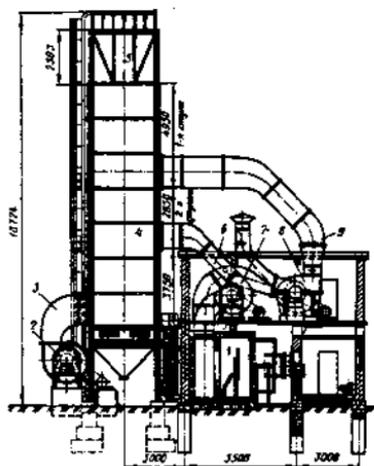


Рис. 1.7. Схема шахтной сушилки

ленных шахт с коробами. Между шахтами находится распределительная камера, разделенная двумя горизонтальными перегородками на три зоны, к которым подключены нагнетательные газоходы 3, 6, 9 вентиляторов. Соответственно к двум верхним зонам подключен сушильный агент, а к нижней зоне — охлаждающий воздух. Таким образом, каждая шахта по высоте сверху вниз делится на три ступени: первые две — зоны сушки, третья — зона охлаждения. Над шахтами расположен загрузочный распределительный бункер 5. Шахты и бункер установлены в металлическом каркасе из швеллеров, которые опираются на фундаменты. Для облегчения монтажа каждая шахта конструктивно состоит из семи секций высотой 1650 мм и весом 124 кг каждая.

Шахты (рис. 1.8) являются основной частью сушилки. Всего по высоте в каждой шахте имеется 27 рядов коробов, подводящих сушильный и охлаждающий агенты, и 29 — отводящих. По ширине в каждом ряду установлено по 15 коробов.

Схема расположения подводящих и отводящих коробов представлена на рис. 1.9. При этом возможны варианты с расположением в горизонтальном ряду только одноименных (подводящих или отводящих) коробов (рис. 1.9 а) или чередование в горизонтальном ряду подводящих и отводящих коробов (рис. 1.9 б).

Конструкция установки коробов в шахте показана на рис. 1.10. Короба изготовлены из оцинкованной стали толщиной 1,6 мм. О форме коробов в поперечном сечении можно судить по рис. 1.10. Длина коробов совпадает с шириной шахты, т. е. составляет 1 м. Короба установлены в шахте горизонтально между вертикальной перегородкой, отделяющей шахту от распределительной камеры, и внешней вертикальной стенкой шахты. Подводящие короба установлены открытым концом в гнездо, вырезанное по форме сечения короба в стенке распределительной камеры, а противоположные концы коробов упираются в глухую часть наружной стенки сушилки и крепятся шпилькой с гайкой. Отводящие короба, наоборот, установлены открытым концом в гнезда, вырезанные в наружной стенке сушилки, а противоположные концы коробов упираются в

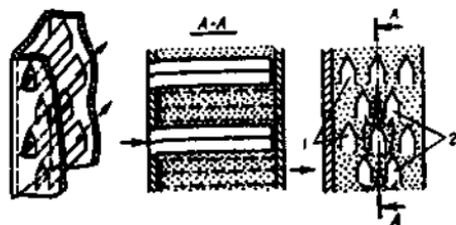


Рис. 1.8. Устройство шахты сушилки

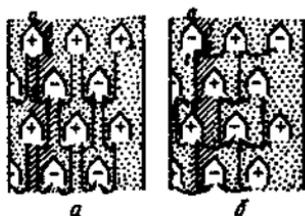


Рис. 1.9. Расположение подводящих и отводящих коробов в шахте

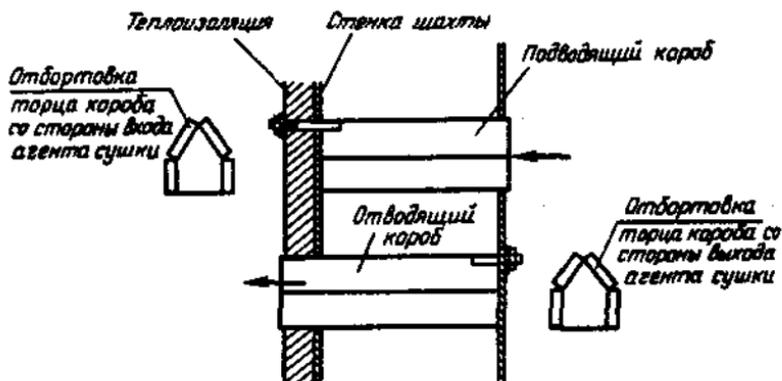


Рис. 1.10. Установка коробов в шахтах зерносушилок

глухую часть стенки распределительной камеры и крепятся шпилькой с гайкой.

Каждый ряд отводящих коробов на наружной стенке сушилки защищен от попадания атмосферных осадков и посторонних предметов предохранительными козырьками из оцинкованной стали.

Для выпуска семян в днище сушильных камер имеется выпускное устройство. Равномерность выпуска семян обеспечивается затворами подвесного роликового типа с приводом. Всего в обеих шахтах сушилки имеется 16 выпускных отверстий. Каждый затвор периодически открывает электроприводом, который включается командоаппаратом КЭП-12У и отключается конечным выключателем. Закрытие затвора происходит под действием возвратных пружин, расположенных со стороны, противоположной электроприводу. Под рамами затворов расположены разгрузочные бункера.

Топка сушилки (рис. 1.11) работает на жидком топливе. Топка состоит из следующих основных частей: камеры сгорания, металлических футерованных кожухов форкамеры, отражателя плоского в камере смешения, форсунки типа Ф-1, вентилятора типа АВД, топливопровода и аппаратуры для автоматического контроля и регулирования. Количество подаваемого топлива и воздуха регулируется при помощи вмонтированных в форсунки микрометрического клапана и дроссельной заслонки с маховичком. Автоматика топки обеспечивает поддержание заданной температуры сушильного агента, постоянного давления топлива перед форсункой. Предусмотрено автоматическое восстановление факела горения топлива при его отрыве и прекращение подачи топлива при аварийной ситуации (остановка вентиляторов сушильной и охлаждающей зон, не-

достаточное давление вентилятора топки, при невозможности автоматического восстановления факела горения, при отключении всей сушильной установки).

На пульте управления сушильной установки, который расположен в помещении топки, находятся следующие приборы:

- электронный мост ЭМД для контроля и регулирования температуры сушильного агента второй зоны сушки;

- лагометр для контроля температуры сушильного агента в первой зоне сушки и температуры семян во второй зоне сушки;

- амперметры для контроля нагрузки электродвигателей вентиляторов зон сушки и охлаждения;

- электронный блок фотореле, контролирующий наличие факела;

- кнопки управления вентиляторами, подачи топлива, КЭПом;

- кнопки опробования звукового сигнала;

- лампы сигнализации «зажигание подано», «температура аварийная», «вентилятор высокого давления работает»;

- реостат дистанционного управления температурой сушильного агента первой зоны сушки;

- кнопки возврата теплового реле.

Сушилка работает следующим образом (см. рис. 1.12). Семена, подлежащие высушиванию, подают норией 1 в загрузочный распределительный надсушильный бункер 3 в верхней части шахтной сушилки. Далее семена движутся, огибая короба в зонах сушки и охлаждения в сушильных шахтах 4 и 5. В связи с циклическим характером работы затвора выпускного механизма 10 при выпуске семян из шахтной сушилки семена движутся в шахтах неравномерно — при открытии затвора перемещаются вниз, а в период закрытия затвора — останавливаются в своем нисходящем движении. Сушильный агент (смесь продуктов сгорания и воздуха) нагнетается по газоходам в распределительные камеры зон сушки 2 и 3 вентиляторами 6 и 7 типа Ц4-70 № 10 и Ц4 № 12, которые приводятся электродвигателями общей мощностью 60 кВт. Из распределительных камер сушильный агент попадает в подводящие короба и далее из них — в отводящие короба и выбрасывается в атмосферу. При этом переходе су-

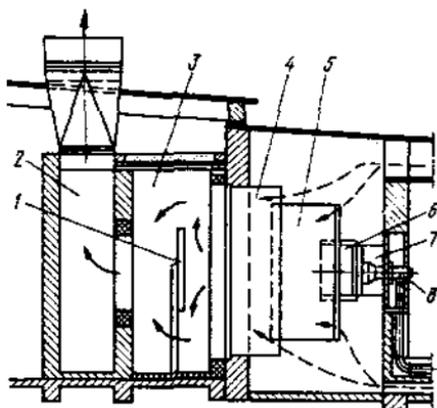


Рис. 1.11. Топка для жидкого топлива:

1 — отражательный щит; 2 — газоход; 3 — камера смешения; 4, 5 — цилиндры; 6 — формкамера; 7 — фронтальная стальная стенка; 8 — форсунка

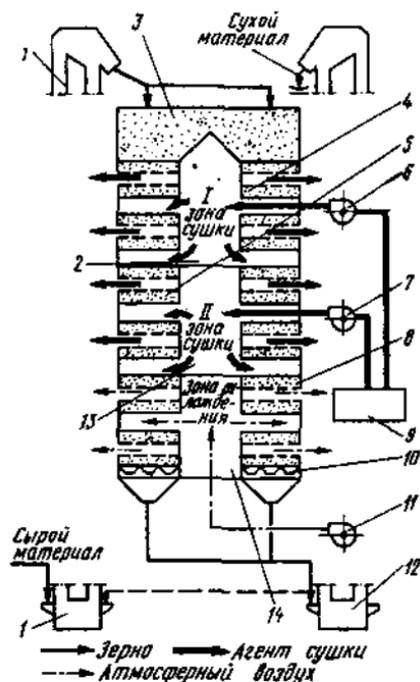


Рис. 1.12. Технологическая схема сушилки ДСП-32-от:

1, 12 — норрии; 2, 13, 14 — напорно-распределительные камеры; 3 — надсушильный бункер; 4, 5 — сушильные шахты; 6, 7, 11 — вентиляторы; 8 — окладительная шахта; 9 — топка; 10 — выпускной механизм

шильный агент пронизывает опускающийся слой высушиваемых семян. Аналогичный путь, как и сушильный агент, проходит охлаждающий атмосферный воздух, нагнетаемый в распределительную камеру 14 зоны охлаждения вентилятором 11 типа Ц4-70 № 12 с электродвигателем мощностью 22 кВт.

При эксплуатации шахтной сушилки перед пуском следует осмотреть ее и очистить основные узлы сушилки (шахты, выпускной механизм, воздухопроводы и вентиляторы) от семян, сора и пыли. При этом проверяют техническое состояние вентиляторов (на легкость вращения ротора и отсутствие цепляния его крыльчатки за кожух), герметичность воздухопроводов и люков, достаточность натяжения ременных передач и исправность их ограждений, исправность транспортных механизмов подачи и отвода семян, готовность топочных устройств и автоматики системы горения.

Непосредственно перед пуском заполняют семенами надсушильный бункер и шахты. Затем включают вентиляторы — сначала сушильных камер, а через 2—3 мин дутьевой вентилятор топки. При достижении требуемой величины давления воздуха, распыляющего топливо перед форсункой, кнопкой открывают электромагнитный вентиль подачи топлива, после чего через 45—60 с автоматически подается напряжение на электроды зажигания. После загорания топлива включают затворы и начинают выпуск семян из шахт. Семена, которые предварительно были загружены в шахты объемом 40 м³, после выпуска возвращают на повторную сушку.

Выход на режим сушки производят постепенным увеличением температуры сушильного агента до тех пор, пока температура семян не достигнет 45°С. Определив влажность семян, окончательно регулируют ре-

**Режимы и технико-экономические показатели работы
шахтной сушилки ДСП-32**

Производительность, т/сут	540
Съем влаги, %	5–6
Температура газов, °С:	
на входе в сушильные зоны	120–160
на выходе из сушилки	50–60
Скорость газов в слое, м/с	до 0,5
Температура семян, °С:	
после сушки	45–55
после охлаждения	не более чем на 5°С выше температуры окружающего воздуха
Расход условного топлива на 1 кг испаренной влаги, кг/кг	0,33
Расход электрической энергии на 1 кг испаренной влаги, кВт·ч/кг	0,066

жим сушки подачей семян. В ходе сушки следят за показанием термометра, установленного в шахтах в конце второй зоны сушки. Влажность семян до сушки и после нее контролируют через каждые 2 ч. Если на выходе из сушилки появляются обрубленные и подгорелые семена, то следует немедленно осмотреть сушильные камеры и найти причины возможной задержки семян в сушилке. Другой причиной появления подгорелых семян в сушилке является повышенная температура сушильного агента, которую необходимо понизить. Для шахтной сушилки опасным является засорение шахт, поэтому сушилку останавливают на чистку не реже одного раза в 10 дней.

Остановку шахтной сушилки начинают с прекращения подачи семян в бункер, и как только их уровень достигнет сушильных камер, выключают выпускные механизмы и снижают до минимума температуру сушильного агента. В таком состоянии досушивают задержанные в сушилке семена. Затем выключают топку, включают выпускные механизмы и выгружают полностью семена из сушилки и транспортных устройств.

Используемые в настоящее время прямоточные шахтные зерносушилки просты по конструкции, удобны в обслуживании, надежны в работе, обладают сравнительно высокими технико-экономическими показателями. Однако их конструктивные недостатки (несовершенство выпускных и воздухораспределительных устройств, неравномерное перемешивание зерна при сушке) приводят к неравномерности нагрева и сушки зерна различной влажности и снижению влажности за один проход до

пература маслосемян, подаваемых во вторую зону сушки, °C; c_2 — удельная теплоемкость маслосемян, поступающих во вторую зону сушки, кДж/(кг·K); Q_{n1} — потери теплоты в окружающую среду, кДж/ч.

$$Q_{n1} = A_1 k (t_{cp} - t_0) 3600, \quad (1.25)$$

где A_1 — площадь поверхности стенок первой зоны (верхней шахты) сушилки, через которые теряется теплота, м²; k — коэффициент теплопередачи от горячего воздуха (точнее, от смеси горячего воздуха и дымовых газов) в шахте сушилки к наружному воздуху: $k = 0,0015 \dots 0,0025$ кВт/(м²·K); t_0 — температура наружного воздуха, °C; t_{cp} — средняя температура воздуха на входе в шахту сушилки и на выходе из нее, °C.

$$t_{cp} = (t_1 + t'_1)/2 \quad (1.26)$$

Расход теплоты во второй зоне сушки (в кДж/ч)

$$Q_2 = L_2 (I'_2 - I_0) - 4,19 W_2 t_2 + G_3 (t_3 - t_2) c_3 + Q_{n2}, \quad (1.27)$$

где L_2 — расход воздуха на сушку семян во второй зоне, кг/ч.

$$L_2 = W_2 / (x'_2 - x_2), \quad (1.28)$$

здесь x_2 и x'_2 — влагосодержание воздуха на входе во вторую зону сушки и на выходе из нее, кг/кг сухого воздуха; I'_2 — энтальпия воздуха, выходящего из второй зоны сушки, кДж/кг; t_3 — температура маслосемян на выходе из второй зоны сушки, °C; c_3 — удельная теплоемкость маслосемян на выходе из второй зоны сушки, кДж/(кг·K).

Величина Q_{n2} находится так же, как Q_{n1} .

Расход воздуха на охлаждение маслосемян (кг/ч)

$$L_3 = (G_3 t_3 c_3 - G_4 t_4 c_4) / (I'_0 - I_0), \quad (1.29)$$

где t_4 — температура высушенных маслосемян на выходе из зоны охлаждения, °C; c_4 — удельная теплоемкость маслосемян на выходе из зоны охлаждения, кДж/(кг·K); I'_0 — энтальпия воздуха на выходе из охладительной камеры, кДж/кг.

Расход топлива (кг/ч)

$$B = (Q_1 + Q_2) / 0,9 Q^p_n, \quad (1.30)$$

где Q^p_n — низшая теплота сгорания топлива (для топочного мазута $Q^p_n = 40\,000$ кДж/кг).

Рециркуляционные сушилки

Недостатки шахтных сушилок устранены в зерносушилках с комбинированным способом сушки, получивших название рециркуляционных.

Рециркуляционные сушилки обеспечивают: сушку семян с доведением до требуемых кондиций по влажности независимо от первоначальной влажности (при сохранении качества семян); достижение равномерного высушивания при смешивании семян различной влажности перед подачей в сушилку; формирование партий семян по признакам, определяющим их пищевые и технологические достоинства; снижение расхода топлива и затрат на сушку по сравнению с шахтными сушилками.

Рециркуляционная зерносушилка с противоточной камерой нагрева (рис. 1.14) состоит из оперативного бункера, приемного бункера с приводным устройством для загрузки камеры нагрева, теплообменника, двух охладительных шахт (промежуточного и окончательного охлаждения), камеры нагрева, выпускного устройства, топки на жидком топливе, вентиляционной системы, рециркуляционной норрии и норрии сухих семян.

Семена, подлежащие сушке, поступают в оперативный бункер, из которого рециркуляционная норрия подает их в приемный бункер. Затем семена пропускают через камеру нагрева и загружают ими теплообменник и обе шахты. После этого подачу сырых семян прекращают и регулируют бесприводное питающее устройство, добиваясь равномерной подачи семян в камеру нагрева по ее сечению и устройства для выпуска семян из шахт. После этого включают в работу вентилятор камеры нагрева и топку. Доведя нагрев семян до допустимой температуры, включают вентиляторы охладительных шахт.

Влажность сырых семян в сушилке снижается до заданной в режиме многократной циркуляции. После достижения заданной влажности семена выпускают из шахты окончательного охлаждения. Одновременно из оперативного бункера в рециркуляционную норрию подают сырые семена в объеме, равном выпущенному количеству семян из сушилки. Смешиваясь с рециркуляционными, сырые семена поступают в камеру нагрева. В ней агент сушки, движущийся снизу вверх, в направлении, противоположном движению семян, нагревает их. Из камеры нагрева семена поступают в теплообменник, в котором происходит интенсивный влагообмен между отдельными семенами и выравнивание их температуры в течение 15 мин. После теплообменника семена разделяют на два потока: один направляется в шахту промежуточного охлаждения для дальнейшей рециркуляции, а другой — в шахту окончательного охлаждения. До выхода из шахты окончательного охлаждения просушенные семена должны иметь заданную влажность.

В основном влага из семян удаляется в охладительных шахтах под действием тепла, полученного в камере нагрева. Для достижения семе-

нами заданной влажности из шахты промежуточного охлаждения их возвращают на рециркуляцию. Сырые семена смешивают с рециркулирующими в таком соотношении, чтобы средневзвешенная влажность смеси превышала конечную влажность на выходе из сушилки на величину средневзвешенного снижения влажности за один цикл. Температура отработанного агента сушки должна быть близка к температуре семян в камере нагрева.

В рециркуляционных сушилках влага из семян испаряется, в основном, в период их охлаждения. Поэтому семена в процессе сушки полностью сохраняют качество.

Рециркуляционной является сушилка А1-УЗМ, которая предназначена для сушки с предварительным нагревом двумя контурами рециркуляции семян подсолнечника, а также зерна продовольственного назначения на хлебоприемных предприятиях с производительностью 50 т/ч.

Сушилка состоит (рис. 1.15) из двух вертикальных сушильных шахт и представляет собой единую конструкцию из металлических секций, теплообменника, охлаждающей шахты, двух выпускных устройств, надсушильных бункеров, топки на жидком топливе, вентиляционного оборудования, системы очистки отработавшего воздуха, транспортного оборудования.

Зерно со складов или элеватора подается в приемный бункер, затем по самотеку — в норию. Из нории по самотеку оно направляется в надсушильный бункер, и далее в сушильную шахту и теплообменник. Через приводной выпускной механизм рециркулирующее зерно поступает в норию, из нее по самотеку — в надсушильный бункер, через перегородку бункера сливается в другой бункер и подогреватель. Отсюда оно по основному самотеку идет в норию, где смешивается с сырым зерном из бункера. В надсушильном бункере зерно проходит через сушильную шахту и охлаждающую зону, транспортером и норией по сливному самотеку подается на склад или в силос. Если влажность зерна на выходе из охлаждающей зоны выше нормы, то перекидной клапан перекрывает сливной самотек, и зерно возвращается на досушку. Агент сушки из топки и параллельно из охлаждающей зоны засасывается вентиляторами и подается в напорно-распределительную камеру, проходит через подогреватель каскадного типа, где осуществляется нагрев зерна. Из подогревателя он поступает в сушильные шахты, где пронизывает зерно в плотном малоподвижном слое. Отработанный агент сушки очищается в осадочных камерах с инерционными пылеотделителями и затем выбрасывается в атмосферу.

Охлаждается зерно в охлаждающей зоне наружным воздухом, который засасывается вентиляторами и, пройдя через осадочную камеру, смешивается с агентом сушки.

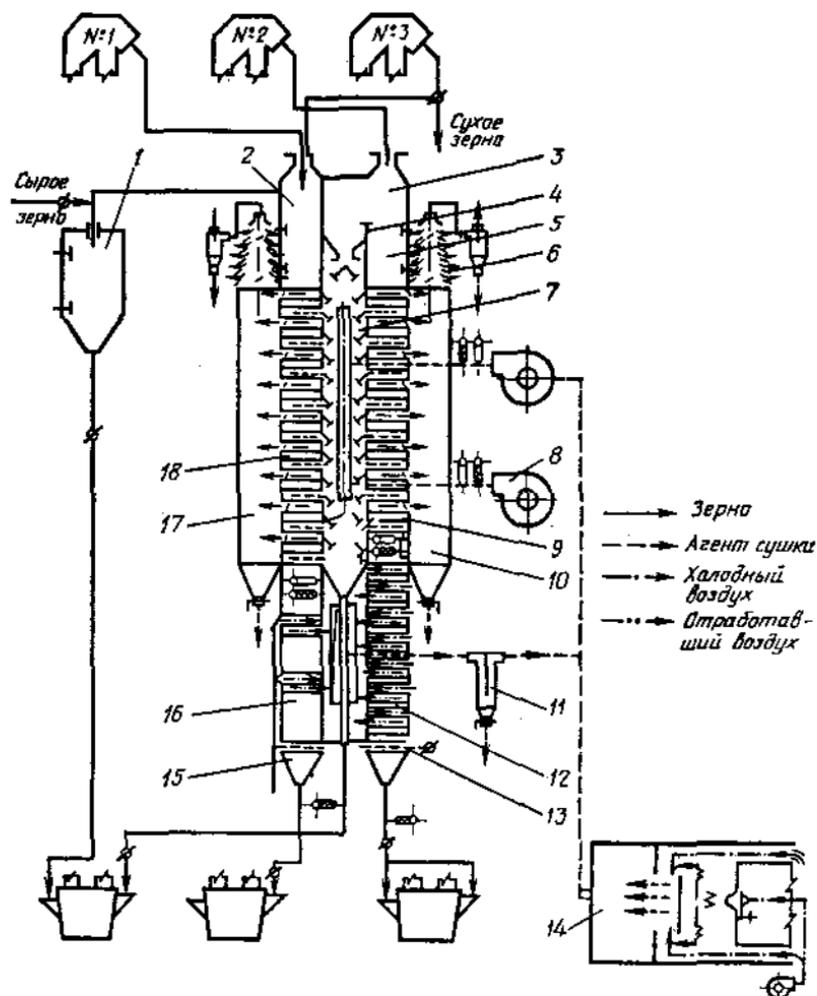


Рис. 1.15. Технологическая схема сушилки А1-УЗМ:

1 — резервный бункер; 2 — бункер сырого зерна; 3, 5 — камеры бункера сухого зерна; 4 — перемычка; 6 — инерционные пылеотделители; 7 — напорная камера; 8 — вентилятор; 9, 18 — сушильные секции; 10, 11, 17 — осадочные камеры; 12 — охлаждающие секции; 13 — выпускной механизм; 14 — топка; 15 — бесприводной выпускной механизм; 16 — теплообменник

Расчеты рециркуляционной сушилки. Расчеты рециркуляционной сушилки возможны на основе использования приближенной математической модели, включающей блоки, описывающие процессы теплообмена в:

- камере нагрева;
- камере промежуточного охлаждения;

– камере окончательного охлаждения.

При построении математической модели рециркуляционной сушилки семян подсолнечника сделаны следующие допущения:

– за время пребывания семян в теплообменнике происходит полное выравнивание температуры и влажности между исходными и рециркулирующими семенами, что полностью подтверждается в экспериментах для температуры, и приближенно для влажности;

– теплофизические характеристики семян подсолнечника на входе в камеру нагрева сушилки определяются как средневзвешенные для потока исходных и рециркулирующих семян;

– теплофизические характеристики сушильного и охлаждающего агента принимаются при их средней температуре в соответствующих камерах.

Процесс теплообмена в камере нагрева можно описать системой уравнений, связывающей изменение влажности и температуры семян во время процесса. Уравнение для описания процесса теплообмена в камере нагрева имеет вид:

$$G_1 = \alpha_m F_k (H_1 - h_1), \quad (1.31)$$

где G_1 — количество влаги, удаляемое из семян подсолнечника в камере нагрева, кг/ч; α_m — коэффициент массоотдачи, кг/(м² · ч · мм рт. ст.); F_k — площадь поверхности семян подсолнечника в камере нагрева, м²; H_1 , h_1 — соответственно парциальное давление паров воды над поверхностью семян и агента сушки, мм рт. ст.

Коэффициент массопередачи определяется из

$$\alpha_m = Nu_m \lambda_m / d_3 \quad (1.32)$$

где λ_m — коэффициент теплопроводности, кг/(м · ч · мм рт. ст.); d_3 — средний эквивалентный диаметр семян подсолнечника ($d_3 = 5,3 \cdot 10^{-3}$ м); Nu_m — критерий Нуссельта, который определяется из критериального уравнения, описывающего массоперенос семян подсолнечника в падающей газовой среде.

$$Nu_m = 5,24 Re^{0,06} \mu^{-0,43}, \quad (1.33)$$

где $Re = v_1 d_3 / \nu$ — число Рейнольдса; $v_1 = G_{ca} / (S_k \rho)$ — скорость агента сушки в камере нагрева, м/ч; G_{ca} — расход агента сушки, кг/ч; S_k — поперечное сечение камеры нагрева, м²; ρ — плотность агента сушки, кг/м³; ν — кинематическая вязкость агента сушки, м²/ч; $\mu = G_{cw} / G_{ca}$ — концентрация семян подсолнечника в камере нагрева; G_{cw} — производительность рециркулирующей норрии, кг/ч.

Коэффициент теплопроводности для семян подсолнечника определяется по формуле

$$\lambda_m = 0,307 \cdot 10^{-6} (\bar{\vartheta}_1 + 273)(760/P_0), \quad (1.34)$$

где $\bar{\vartheta}_1$ — средняя температура семян в камере нагрева, °С.

Кинематическую вязкость агента сушки можно представить уравнением

$$\nu = (4,986 + 0,0323 \bar{t}_1 + 0,000036 \bar{t}_1^2) \cdot 10^{-2}, \quad (1.35)$$

где \bar{t}_1 — средняя температура агента сушки в камере нагрева, °С.

Плотность агента сушки можно представить уравнением

$$\rho = 1/(0,8 + 0,0029\bar{t}_1). \quad (1.36)$$

Площадь поверхности семян в камере нагрева

$$F_k = f G_{cm} \tau_1, \quad (1.37)$$

где $f = 1,55 \text{ м}^2/\text{кг}$ — средняя удельная поверхность семян подсолнечника; τ_1 — время пребывания семян в камере нагрева, ч.

Время пребывания семян подсолнечника в камере нагрева с достаточной точностью (относительная погрешность менее 3%) может быть представлена эмпирическим уравнением

$$\tau_1 = 0,84 \cdot 10^{-3} + 0,45 \cdot 10^{-8} G_{ca}/\rho \quad (1.38)$$

Степень нагрева семян подсолнечника в камере нагрева также может быть найдена из эмпирической зависимости

$$\Delta\vartheta = 0,32 t_{ca}^{0,77} q^{-0,01} \mu^{-0,63}, \quad (1.39)$$

где $q = G_{ca} / S_k$ — удельный массовый расход агента сушки, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Тогда средняя температура семян в камере нагрева

$$\bar{\vartheta}_1 = \bar{\vartheta}_{cm} + 0,5\Delta\vartheta, \quad (1.40)$$

а температура семян подсолнечника, входящих в камеру нагрева

$$\bar{\vartheta}_{cm} = (\vartheta_{исх} + n\vartheta_{рег})/(1 + n), \quad (1.41)$$

где n — коэффициент рециркуляции (отношение массы рециркулирующих семян к массе исходных).

Парциальное давление паров воды над поверхностью семян (среднее):

$$H = b \bar{\vartheta}_1^2, \quad (1.42)$$

где b — коэффициент (при $W = 8...15\%$ $b = 0,025...0,041$).

Парциальное давление паров воды в агенте сушки (среднее):

$$h = \frac{P_0 \left(d_{вх1} + 500 \frac{G_1}{G_{ca}} \right)}{622 + d_{вх1} + 500 \frac{G_1}{G_{ca}}}, \quad (1.43)$$

где P_6 — барометрическое давление, мм рт. ст.; $d_{\text{вх1}}$ — влагосодержание сушильного агента на входе в камеру нагрева, г/кг.

Процесс массообмена в камерах промежуточного и окончательного охлаждения в плотном слое может быть описан уравнением

$$S = \Psi(H - h), \quad (1.44)$$

где S — интенсивность самоиспарения, кг/(м²·ч); Ψ — коэффициент массообмена при самоиспарении, кг/(м²·ч·мм рт. ст.).

Коэффициент массообмена при самоиспарении рекомендуется определять по следующей формуле:

$$\Psi = 0,55 \cdot 10^{-6} (V\rho)^{0,25} \quad (1.45)$$

Скорость охлаждающего воздуха в камерах промежуточного и окончательного охлаждения можно определить из соотношения

$$V = L/(\epsilon S_{\text{сеч}} n' \rho), \quad (1.46)$$

где L — расход охлаждающего воздуха, кг/ч; $\epsilon = 0,4$ — порозность слоя семян подсолнечника; $S_{\text{сеч}}$ — площадь поперечного сечения ряда распределительных подающих коробов в камерах охлаждения, м²; n' — количество рядов распределительных подающих коробов в камерах охлаждения, шт.

Площадь поверхности семян подсолнечника, находящегося в камерах промежуточного и окончательного охлаждения, равна

$$S_{\text{сех}} = V_{\text{охл}} \rho_n f, \quad (1.47)$$

где $V_{\text{охл}}$ — объем камер окончательного или промежуточного охлаждения, м³; ρ_n — насыпная масса (объемная плотность) семян подсолнечника, кг/м³.

Объединяя уравнения (1.42) и (1.44—1.47), можно записать уравнение для определения количества влаги, испаренной в камере окончательного охлаждения рециркуляционной сушилки

$$G_2 \approx 0,55 \cdot 10^{-6} V_{\text{охл}} \rho_n f \left(\frac{L}{\epsilon S_{\text{сеч}} n'} \right)^{0,25} \left(b \bar{\vartheta}_2 - h_2 \right), \quad (1.48)$$

а для определения количества влаги, испаренной в камере промежуточного охлаждения

$$G_3 \approx 0,55 \cdot 10^{-6} V_{\text{охл}} \rho_n f \left(\frac{L}{\epsilon S_{\text{сеч}} n'} \right)^{0,25} \left(b \bar{\vartheta}_3 - h_3 \right), \quad (1.49)$$

где $\bar{\vartheta}_2, \bar{\vartheta}_3$ — соответственно средняя температура семян подсолнечника в камере окончательного и промежуточного охлаждения

$$\bar{\vartheta}_2 = (\bar{\vartheta}_1 + \bar{\vartheta}_{\text{сух}})/2 \quad (1.50)$$

$$\bar{\vartheta}_3 = (\bar{\vartheta}_1 + \bar{\vartheta}_{\text{рец}})/2 \quad (1.51)$$

Температуру семян на выходе из камеры окончательного охлаждения $\bar{\vartheta}_{\text{сух}}$ и из камеры промежуточного охлаждения $\bar{\vartheta}_{\text{рец}}$ можно определить из теплового баланса для соответствующих камер

$$\bar{\vartheta}_{\text{сух}} = (c_{\text{сем}} G_{\text{сух}} \bar{\vartheta}_1 - c_{\text{возд}} L t_{\text{возд}}) / (c_{\text{сем}} G_{\text{сух}} - c_{\text{возд}} L) \quad (1.52)$$

$$\bar{\vartheta}_{\text{рец}} = (c_{\text{сем}} G_{\text{рец}} \bar{\vartheta}_1 - c_{\text{возд}} L t_{\text{возд}}) / (c_{\text{сем}} G_{\text{рец}} - c_{\text{возд}} L) \quad (1.53)$$

Парциальное давление паров воды в воздухе:

— в камере окончательного охлаждения

$$h_2 = \frac{P_6 \left(d_{\text{вх}2} + 500 \frac{G_2}{L} \right)}{622 + d_{\text{вх}2} + 500 \frac{G_2}{L}} \quad (1.54)$$

— в камере промежуточного охлаждения

$$h_3 = \frac{P_6 \left(d_{\text{вх}2} + 1000 \frac{G_2}{L} + 500 \frac{G_3}{L} \right)}{622 + d_{\text{вх}2} + 1000 \frac{G_2}{L} + 500 \frac{G_3}{L}}, \quad (1.55)$$

где $d_{\text{вх}2}$ — влагосодержание охлаждающего воздуха на входе в камеры охлаждения, г/кг.

Материальный баланс по влаге для всей сушилки можно записать с учетом уравнений (1.31—1.55):

$$\frac{G_{\text{исх}} W_{\text{исх}}}{100} + \frac{G_{\text{рец}} W_{\text{рец}}}{100} = \frac{G_{\text{рец}} W_{\text{рец}}}{100} + \frac{G_{\text{сух}} W_{\text{сух}}}{100} + G_1 + G_2 + G_3, \quad (1.56)$$

$$\text{где } G_{\text{сух}} = \frac{[100 - (W_{\text{исх}} - W_{\text{сух}})] G_{\text{исх}}}{100}$$

Тогда

$$G_{\text{исх}} = \frac{100(G_1 + G_2 + G_3)}{W_{\text{исх}} - W_{\text{сух}} + \frac{W_{\text{исх}} W_{\text{сух}}}{100} - \frac{W_{\text{сух}}^2}{100}}. \quad (1.57)$$

Основными входными параметрами для модели рециркуляционной сушилки являются: $G_{\text{см}}, W_{\text{исх}}, \bar{\vartheta}_{\text{исх}}, G_{\text{св}}, t_{\text{св}}, d_{\text{вх}1}, d_{\text{вх}2}, L, t_{\text{возд}}, P_6$.

Промежуточные параметры: $G_{\text{рец}}, W_1, W_{\text{рец}}, \theta_1, \theta_{\text{рец}}, d_{\text{вх.3}}, t_{\text{возд.п.}}$

Выходные параметры: $G_{\text{сух}}, W_{\text{сух}}, \theta_{\text{сух}}, t_{\text{вых.в}}, t_{\text{возд.вых}}$

Наиболее важным показателем работы сушилок является их производительность по исходным семенам $G_{\text{исх}}$. Порядок расчета $G_{\text{исх}}$ следующий.

1. Задаем $G_{\text{исх}}$.
2. По формулам (1.31—1.43) рассчитываются $G_1, \Delta\theta$.
3. По формулам (1.44—1.55) рассчитываются $G_2, G_3, \theta_{\text{сух}}, \theta_{\text{рец}}$.
4. По формуле (1.57) рассчитывается количество семян, которое можно просушить до $W_{\text{сух}} = 7\%$ при таких исходных данных. При несовпадении с принятым значением $G_{\text{исх}}$ производится итерационный перерасчет.

Сушилки кипящего слоя

Сушка в барабанных и шахтных сушилках плотного и пересыпающегося слоя семян не обеспечивает достаточную равномерность их нагрева и сушки. Это приводит к нежелательным изменениям качества семян и содержащегося в них масла. Кроме того, высушенные семена характеризуются разновлажностью, что отрицательно сказывается на их хранении и переработке.

Переход от плотного к разрыхленному, «кипящему» (псевдооживленному) слою семян интенсифицирует процесс конвективной сушки за счет изменения структуры слоя и значительного увеличения его активной поверхности. При этом семена равномерно перемешиваются и высушиваются, поэтому сушку в кипящем слое считают перспективной.

Создание техники для сушки семян подсолнечника в кипящем слое проводилось во ВНИИЖе, где была разработана ротационная установка (рис. 1.16), и в СКФ ВНИИЖа, где была создана ступенчатая сушилка в «зажатом» кипящем слое (рис. 1.17).

Ротационная установка состоит из нескольких однотипных секций, установленных на одном валу (рис. 1.16). Верхние секции являются сушильными камерами, а нижние используются для охлаждения семян. Каждая секция 1 имеет перфорированное днище 4 с отверстиями диаметром 2,5 мм и отделяется от другой секции сплошным днищем 5, в котором имеется только перепускное отверстие 7. На вертикальном валу 3 в каждой секции укреплены 18 радиальных лопастей 6.

В верхнюю секцию установки семена подаются шлюзовым питателем. Семена загружаются последовательно в сектора, образованные радиальными лопатками на вращающемся валу, слоем высотой 450 мм и медленно перемешаются по перфорированному днищу к месту выгрузки. Под перфорированное днище подается сушильный агент с температурой 150—180°C со скоростью, обеспечивающей состояние «кипения»

семян в секторах, из которых семена поочередно выгружаются через перепускное отверстие в сплошном днище и поступают в сектора следующей, нижерасположенной секции. Далее в следующей секции процесс повторяется. Для обеспечения возможности регулирования процесса сушки агента подается отдельно в каждую сушильную секцию. Температура нагрева семян в зависимости от исходной влажности колеблется от 75 до 98°C.

В нижних секциях охлаждение семян производится наружным воздухом. Отработанный сушильный агент и воздух направляются в циклоны для очистки, после чего удаляются в атмосферу.

Недостатком способа сушки в кипящем слое при высоких температурах сушильного агента яв-

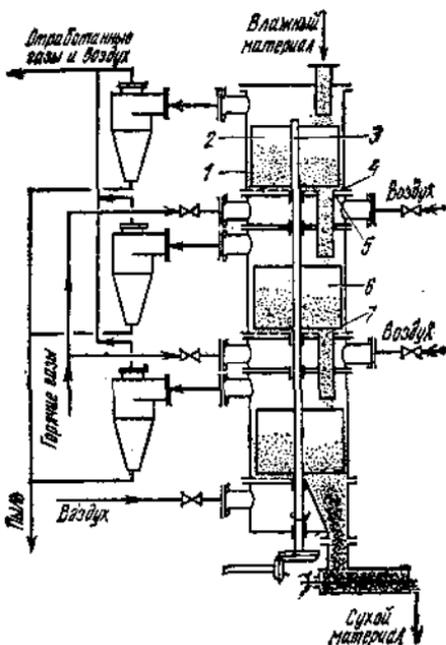


Рис. 1.16. Схема ротационной сушилки кипящего слоя

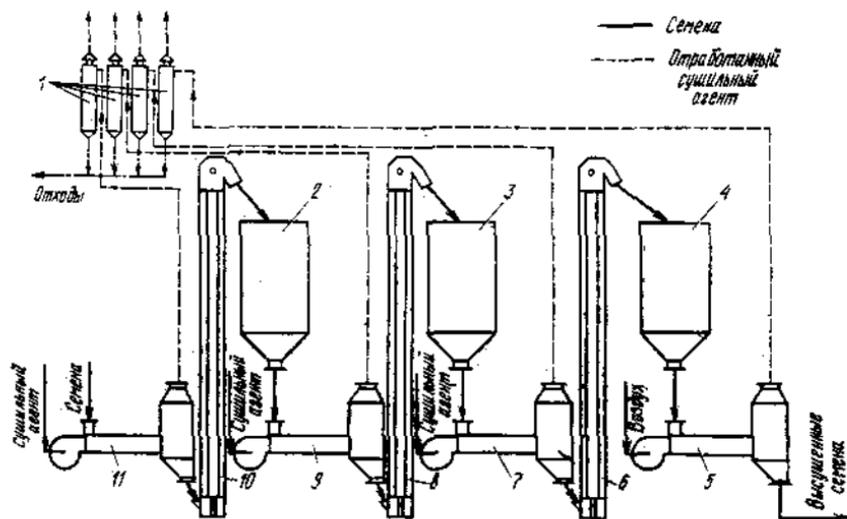


Рис. 1.17. Схема сушильной установки для сушки в «зажатом» кипящем слое

ляется очень быстрый нагрев семян до высоких температур, в результате чего возможно, несмотря на небольшую продолжительность процесса, ухудшение качества семян и масла.

Технологическая схема сушильной установки, разработанной в СКФ ВНИИЖа, показана на рис. 1.17. Влажные семена подаются в сушильный элемент 11, после кратковременной сушки (в течение примерно 20 с) норией 10 направляются на отлежку в теплообменник 2, который обеспечивает перемещение влаги из глубинных слоев к поверхности семени при температуре 40—60°C. При этом влажность семян выравнивается, семена частично подсушиваются в общей массе за счет тепла, аккумулированного в зоне сушки. Подсушенные семена подаются последовательно на вторую (сушильный элемент 9, нория 8, теплообменник 3) и третью ступень сушки (сушильный элемент 7, нория 6, теплообменник 4). Далее высушенные семена поступают на охлаждение в секцию 5, аналогичную по устройству сушильным элементам. Отработанный сушильный агент и охлаждающий воздух отводятся на очистку в циклоны 1.

Сушильная установка обеспечивает съем влаги до 10—12% при производительности 500 т/сут семян подсолнечника.

В ступенчатой сушилке для сушки семян в «зажатом» кипящем слое основным является сушильный элемент (рис. 1.18), который представляет собой короб 3 шнека диаметром 500 мм, длиной 2,5 м. Зона сушки ограничена сверху сплошной крышкой 4, расположенной на высоте верхнего уровня кипящего слоя, что позволяет иметь в зоне сушки «зажатый» кипящий слой. Снизу зона сушки ограничена металлической беспровальной решеткой 1, размеры отверстий которой 3 мм предотвращают провал семян во время работы и останков аппарата.

Под слой семян через каналы, образованные газораспределительными планками 2, подается направленный поток сушильного агента со скоростью, достаточной для создания кипящего слоя. Зажатый сверху и снизу слой семян движется в горизонтальном направлении под действием сушильного агента. Сепарационная зона 5 для разделения отработанного сушильного агента и высушиваемого материала установлена в месте выгрузки высушиваемого материала.

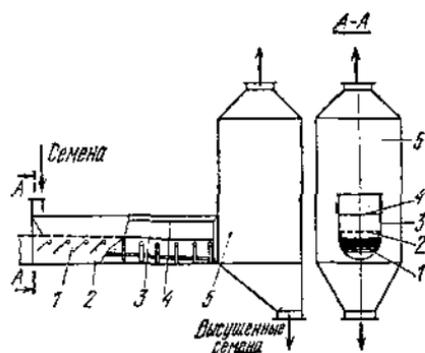


Рис. 1.18. Сушильный элемент с «зажатым» кипящим слоем

Расчеты сушилок кипящего слоя. Для семян подсолнечника кинетика сушки в кипящем слое обобщена Кириевским Б.Н. критериальным уравнением

$$\frac{Fo \cdot \Theta \cdot Re^{1,4} \cdot Gu^{0,9}}{\left(\frac{H_0}{d_s}\right)^{0,5} \cdot Ko^{0,9}} = 4,1 \cdot 10^3 \cdot (0,95 - 0,86Л) \left[\frac{W_n}{W_n - W_k} \right]^{-2,8} \quad (1.58)$$

Из этого уравнения следуют расчетные формулы:

– в случае сушки в кипящем слое семян подсолнечника, предназначенных для хранения

$$Fo = 3,0 \cdot 10^3 \cdot Ko^{0,9} \cdot Re^{-1,4} \cdot Gu^{-0,9} \cdot \Theta^{-1,0} \cdot \left(\frac{H_0}{d_s}\right)^{0,5} \cdot \left[\frac{W_n}{W_n - W_k} \right]^{-2,8} \quad (1.59)$$

– в случае сушки в кипящем слое семян подсолнечника, предназначенных для переработки

$$Fo = 2,3 \cdot 10^3 \cdot (0,95 - 0,86Л)^{0,6} \cdot Ko^{0,9} \cdot Re^{-1,4} \cdot Gu^{-0,9} \cdot \Theta^{-1,0} \cdot \left(\frac{H_0}{d_s}\right)^{0,5} \cdot \epsilon_k^{1,6} \quad (1.60)$$

– в случае сушки семян подсолнечника в процессе активного вентилирования атмосферным и подогретым воздухом

$$Fo = 15,0 \cdot Ko \cdot Re^{-1,8} \cdot \left(\frac{H_0}{d_s}\right)^{1,5} \cdot \left[\frac{W_n}{W_n - W_k} \right]^{-1,0} K_N^{1,8}, \quad (1.61)$$

где $Fo = \alpha\tau/d_s^2$ — число Фурье ($Fo = 0,3 \dots 6,6$); α — коэффициент теплопроводности, m^2/c ; τ — время, с; d_s — эквивалентный диаметр семян, м; $\Theta = (\theta_k - \theta_n)/(t_c - \theta_n)$ — безразмерная температура нагрева семян ($\Theta = 0,29 \dots 0,89$; θ_k, θ_n — соответственно конечная и начальная температура семян; t_c — температура сушильного агента); $Re = d_s v_a/\nu$ — число Рейнольдса [$Re = 400 \dots 800$; v_a — действительная скорость сушильного агента ($v_a = v/\epsilon$, где v — скорость на полное сечение сушильной камеры; ϵ — порозность слоя), м/с; ν — кинематическая вязкость сушильного агента, m^2/c]; $Gu = T_c/T_u$ — модифицированный критерий Гухмана ($Gu = 1,15 \dots 1,47$; T_c — температура сушильного агента по сухому термометру, К; T_u — температура сушильного агента по мокрому термометру, К); H_0/d_s — безразмерная высота плотного слоя ($H_0/d_s = 25 \dots 85$; H_0 — высота плотного слоя, м); $Ko = \frac{\gamma u_n}{c(t_c - \theta_n)}$ — критерий Коссовича ($Ko = 0,9 \dots 6,6$;

γ — удельная теплота испарения влаги, кДж/кг; $u_n = W_n/(100 - W_n)$ — начальное влагосодержание семян, кг/кг; t_c — температура сушильного агента, °С; c — удельная теплоемкость влажных семян, кДж/(кг · град); $W_n/(W_n - W_k)$ — безразмерная влажность семян ($W_n/(W_n - W_k) = 3,1 \dots 2,5$);

W_n, W_k — начальная и конечная влажность семян, %); $\epsilon_k = \Delta W_n / \Delta W$ — безразмерная кинетическая составляющая критерия фазового превращения ($\epsilon_k = 0,13 \dots 0,91$; $\Delta W_n, \Delta W$ — изменение влажности ядра и семян в процессе кондиционирования, %); $K_N = 1,57 \left(\frac{L}{H_3} \right)^{0,28}$ — критерий неравномерности ($K_N = 1$, если $L/H_3 \leq 0,2$, K_N надо учитывать при $L/H_3 > 0,2$ и $H_3 \geq 1,5$ м; L — расстояние между воздухораспределительными устройствами в установках активного вентилирования, м; $H_3 = H_0 - 0,5$ — эффективная высота слоя семян, м).

Методика расчета охлаждения семян подсолнечника в «зажатом» кипящем слое основана на кинетическом уравнении процесса:

$$\theta = A \operatorname{Re}^{-0,3} \left(\frac{\rho_n F_p \delta_p}{G_a} \right)^{0,35} \left(\frac{l}{b} \right)^{0,1} \left(\frac{G}{L} \right)^{0,35} \operatorname{Fo}^{-0,7} \sin(\gamma - \beta) \quad (1.62)$$

где $\theta = \frac{t_k - t_{oc}}{t_n - t_{oc}}$ — симплекс температур (t_n, t_k, t_{oc} — соответственно температуры семян: начальная, на выходе из охладителя, охлаждающей среды (воздуха), °C); $A = 3,5$ — коэффициент; $\operatorname{Re} = \frac{v_r d_s}{\nu}$ — критерий Рейнольдса (v_r — скорость охлаждающей среды в слое продукта, м/с; d_s — эквивалентный диаметр семян, м; ν — коэффициент кинематической вязкости охлаждающей среды, м²/с); ρ_n — насыпная плотность семян, кг/м³; F_p — площадь газораспределительной решетки, м²; δ_p — ширина щелей в беспровальной газораспределительной решетке, м; $G_a = \rho_n h_{cl} F_p \epsilon / \epsilon_0$ — масса семян в аппарате, кг ($h_{cl} = H - (l/2) \sin \beta$ — высота кипящего слоя на наклонной решетке, м; H — высота кипящего слоя, м; l — длина газораспределительной решетки, м; β — угол наклона к горизонту газораспределительной решетки, град; $\epsilon = \operatorname{Re}^{0,33} \operatorname{Ar}^{-0,21}$ — порозность кипящего слоя; $\epsilon_0 = 1 - (\rho_n / \rho)$ — порозность неподвижного слоя; ρ — плотность семян подсолнечника, кг/м³; $\operatorname{Ar} = (g d_s^3 / \nu^2) (\rho - \rho_n) / \rho_n$ — критерий Архимеда; $g = 9,8$ м/с² — ускорение силы тяжести; ρ_n — плотность охлаждающей среды, кг/м³); b — ширина газораспределительной решетки, м; G — производительность по семенам, кг/с; $L = 1,6 \rho_r v_r F_p \epsilon \sin(\gamma - \beta) \cdot \cos^3(\gamma - \beta)$ — массовый расход охлаждающей среды, кг/с; $\operatorname{Fo} = 4 a_r \tau / d_s^2$ — критерий Фурье (a_r — коэффициент температуропроводности семян, м²/с; $\tau = G_a / G$ — время пребывания семян в аппарате, с); γ — угол наклона пластин беспровальной газораспределительной решетки, град.

Кинетическое уравнение (1.62) можно решить относительно производительности

$$G = B C \sin^{1,1}(\gamma - \beta) \cos(\gamma - \beta), \quad (1.63)$$

где $B = A_1 v_r^{0,62} \theta^{0,35}$ и $C = h_{cl}^{10,9} b^{1,1}$

Контрольные вопросы

1. Каковы современные требования к сушильным установкам?
2. Каково устройство барабанной сушилки?
3. Что обеспечивает транспортирование семян в осевом направлении по барабану сушилки?
4. Каково устройство охлаждающей камеры?
5. Каково устройство шахтной сушилки?
6. Что собой представляют короба, и как обеспечивается контакт сушильного агента и семян?
7. Как осуществляется выпуск семян из шахтной сушилки?
8. Каковы основные правила эксплуатации сушилок?
9. Каковы основные правила техники безопасности при работе на сушилках?

Задания

1. Выполнить расчет барабанной сушилки по следующим исходным данным: диаметр барабана $D_b = 1,75$ м; длина барабана $l_b = 9$ м; угол наклона барабана $\beta = 0^\circ$; начальная влажность $W_1 = 10,5\%$; конечная влажность $W_2 = 7\%$; температура сушильного агента на входе $t_{\text{в}} = 250^\circ\text{C}$; скорость теплоносителя $v_t = 2$ м/с; частота вращения барабана $n = 6$ об/мин.
2. Выполнить расчет перепада аэродинамического давления в барабанной сушилке. Исходные данные использовать из задания 10. Дополнительно: размер лопаток барабана $a_3 = 0,15$ м; время полета $\tau_{\text{прл}} = 0,6$ с.
3. Выполнить тепловой расчет барабанной сушилки по следующим исходным данным: в сушилку подается 175 т/сут семян подсолнечника, их начальная влажность 11,4%, конечная — 6,8%. Низшая теплота сгорания топлива 39 300 кДж/кг.
4. Определить мощность привода барабанной сушилки, имеющей диаметр 2,8 м и диаметр приводных роликов 0,15 м, масса сушилки и продукта в ней составляет, соответственно, 1860 и 500 кг. Диаметр цапфы опорного ролика следует принять равным 0,1 м.
5. Рассчитать шахтную сушилку по следующим исходным данным: производительность сушилки $G_1 = 19\ 200$ кг/ч семян подсолнечника; их начальная влажность $w_1 = 13\%$, конечная $w_4 = 6\%$. Температура наружного воздуха $t_1 = 15^\circ\text{C}$.
6. Выполнить расчет размеров сушилки с псевдооживленным слоем семян подсолнечника для длительного хранения на производительность $Q = 400$ т/сут с начальной влажностью $W_n = 10,5\%$. Влажность высушенных семян $W_k = 7\%$. Высота слоя семян в сушилке принимается $H_0 = 0,4$ м. Температура окружающей среды равна начальной температуре семян $t_{\text{вс}} = t_n = 20^\circ\text{C}$. Относительная влажность $\varphi_0 = 0,7$. Температура сушильного агента $t_c = 150^\circ\text{C}$. Предельная температура нагрева семян $\theta_k = 56^\circ\text{C}$.

ГЛАВА 2.

МАШИНЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ МАСЛИЧНЫХ СЕМЯН

Важность технологической операции очистки масличных семян от примесей (органический и минеральный сор, масличная примесь и др.) обусловлена тем, что ее проведение обеспечивает:

- повышение стойкости семян при хранении;
- улучшение качества вырабатываемой продукции (масло, жмых, шрот);
- улучшение работы оборудования, уменьшение его износа, повышение производительности;
- рациональное использование полезной вместимости складов;
- улучшение санитарного состояния в цехах и на территории предприятия.

Сырьевую и производственную очистку семян производят в соответствии с местом ее проведения (при приемке семян на хранение или подаче их на переработку). Способы очистки семян основаны на различии свойств семян и примесей в зависимости от линейных размеров, аэро- и гидродинамических, электрических и магнитных свойств, формы, состояния поверхности и коэффициента трения.

Следует отметить, что вариация средних размеров семян по сортам небольшая (внутри сортов она значительнее), что позволяет строить технологические процессы по единой схеме для всех современных сортов семян подсолнечника.

Способы очистки, основанные на указанных признаках разделения, имеют разные интенсивность и эффективность, что обусловило соответствующий выбор их; наибольший эффект дает комбинирование способов. Так, в наиболее распространенных для очистки масличных семян зерновых сепараторах используются признаки разделения по размерам, аэродинамическим и магнитным свойствам.

Отделение примесей, отличающихся от семян размерами, производят на ситах. Сита чаще всего представляют собой тонкое листовое желе-

зо с пробитыми в нем отверстиями круглой и продолговатой формы, расположенными в шахматном порядке. Чаще всего в сепараторах сита имеют плоскую форму, но бывают и барабанные сита. При прохождении разделяемой смеси частиц по сити часть из них (с размерами меньше размера отверстия сита), называемая *проходом*, проваливается под сито, а частицы, не прошедшие через отверстия сита, называются *сходом*.

Отмечено, что на ситах с круглыми отверстиями частицы с неравными размерами по трем измерениям, делятся по ширине, а на ситах с продолговатыми отверстиями — по толщине (см. рис. 2.1).

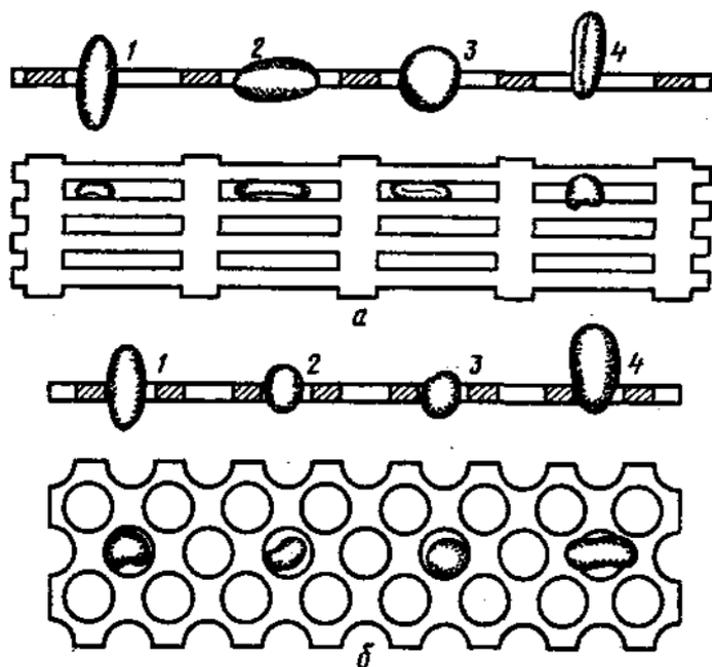


Рис. 2.1. Схема взаимодействия семян с ситами с продолговатыми (а) и круглыми (б) отверстиями

Теоретические вопросы ситового сепарирования

Для обоснования размера отверстий сит необходимо иметь данные по распределениям размеров семян и отделяемой примеси (возможны случаи: отсутствие перекрытия распределений, полное перекрытие и частичное перекрытие).

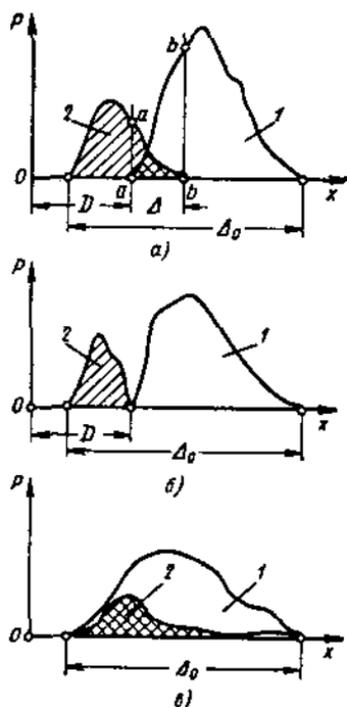


Рис. 2.2. К определению делимости зерновой смеси по одному признаку x

Двухкомпонентная смесь (например, основная масса семян и мелкие примеси) по признаку x характеризуется двумя вариационными кривыми.

На рис. 2.2 заштрихованная площадка между кривой 2 и осью абсцисс соответствует мелким примесям, а площадка между кривой 1 и осью абсцисс — основной массе семян. Общий интервал Δ_0 соответствует интервалу всей смеси, в котором варьирует признак x обоих компонентов.

Как видно из рис. 2.2 а, часть площади, ограниченной кривой 1, перекрывается заштрихованной площадкой на участке с интервалом Δ . Следовательно, эта часть смеси не может быть разделена по данному признаку. Рассматриваемую смесь можно разделить в два приема:

— часть основной массы семян в чистом виде, соответствующую площадке справа от прямой $b-b$, теоретически можно выделить по рабочему признаку $D + \Delta$;

— часть мелких примесей в чистом виде, соответствующую площадке слева от прямой $a-a$, можно выделить по признаку D .

Следовательно, данная смесь по одному признаку только частично может быть разделена на компоненты в чистом виде, т.е. делимость ее будет неполной. Такая смесь называется *трудноразделимой*.

Критерием теоретической делимости смеси λ условно считают отношение интервала теоретически возможного разделения компонентов к общему интервалу смеси. В нашем случае критерий теоретической делимости двухкомпонентной смеси будет характеризоваться отношением

$$\lambda = \frac{\Delta_0 - \Delta}{\Delta_0} = 1 - \frac{\Delta}{\Delta_0}, \quad (2.1)$$

где Δ — интервал, в котором перекрываются компоненты; Δ_0 — интервалы смеси.

При сепарировании встречаются следующие характерные разновидности двухкомпонентной исходной смеси:

$\Delta < \Delta_0$; $\lambda < 1$ — смесь трудноразделимая (рис. 2.2 а);

$\Delta = 0$; $\lambda = 1$ — смесь разделимая (рис. 2.2 б);

$\Delta = \Delta_0$; $\lambda = 0$ — смесь неразделимая (рис. 2.2 в).

На практике преобладают трудноразделимые по одному какому-либо признаку смеси; для их сепарирования используют несколько признаков, причем операции разделения могут протекать последовательно или параллельно. Можно применить для сепарирования двухкомпонентной смеси последовательно два признака x и y (например, для семян подсолнечника это размеры и скорость витания) пользуясь корреляционной таблицей.

На рис. 2.3 показана корреляционная таблица варьирования ширины и толщины семян. На оси абсцисс построены вариационные кривые по ширине, а на оси ординат — по толщине семян. Кривые, относящиеся к основной массе семян, обозначены цифрой 1, а к примесям — цифрой 2. Цифры, вписываемые в таблицу (в прямоугольник $ACDF$), указывают количество семян определенной ширины и толщины.

С помощью этой таблицы можно найти критерий теоретической делимости и теоретически возможную степень разделения смеси. В част-

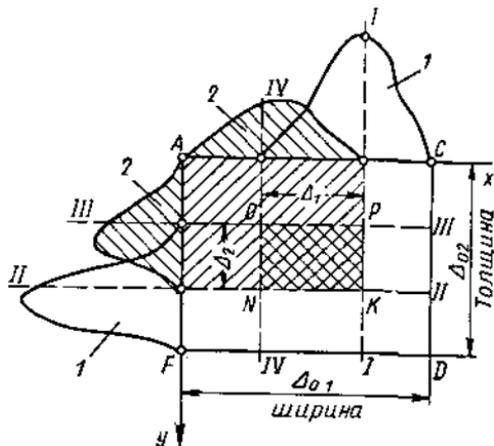


Рис. 2.3. К определению делимости зерновой смеси по двум признакам x и y

ности, можно определить величину потерь основной массы семян, попадающих в отходы.

Разделив исходную смесь четырьмя операциями по толщине и ширине (I—I, II—II, III—III, IV—IV), можно получить оба компонента в чистом виде и неразделимую смесь основных семян и примесей, характеризуемых прямоугольником $OPKN$.

Критерием теоретической делимости рассмотренной смеси по двум признакам может служить отношение

$$\lambda = \frac{\text{пл.АСDF} - \text{пл.ОРКН}}{\text{пл.АСDF}} = 1 - \frac{\Delta_1 \Delta_2}{\Delta_{01} \Delta_{02}}, \quad (2.2)$$

где Δ_1 — интервал, в котором компоненты перекрываются по ширине семян; Δ_2 — интервал, в котором компоненты перекрываются по толщине семян; Δ_{01} — общий интервал смеси по ширине семян; Δ_{02} — общий интервал смеси по толщине семян.

Приведенные критерии делимости, а также возможные величины выходов отдельных компонентов, следует рассматривать как теоретически возможные, дающие только качественную оценку. Практически в результате разделения смесей, даже при правильно выбранном рабочем признаке делимости, в существующих сепараторах нельзя получить компоненты в чистом виде, т.е. достичь 100%-го разделения. Получаемые фракции в большинстве случаев состоят из смеси компонентов, входящих в исходную смесь, но в других соотношениях. Эффект разделения зависит от разделяющей способности сепаратора, определяемой оптимальным режимом его работы.

Режим работы сепаратора характеризуется следующими основными факторами: количеством исходной смеси, поступающей в сепаратор в единицу времени, т.е. начальной подачей; составом исходной смеси; физическими свойствами компонентов смеси; продолжительностью сепарирования.

Чтобы произошло просеивание на сите, оно должно двигаться неравномерно — с ускорением. Это обеспечивает относительное движение семени по сити, в результате чего увеличивается вероятность попадания семени в отверстия сита, и происходит просеивание.

Применяются следующие виды движения сит: продольное возвратно-поступательное; поперечное возвратно-поступательное; круговое поступательное; вибрационное.

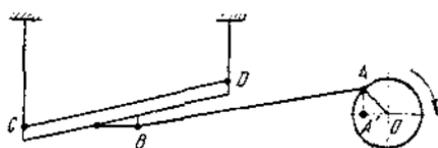


Рис. 2.4. Схема плоского сита с продольным возвратно-поступательным движением, создаваемым кривошипно-шатунным механизмом

Рассмотрим кинематику движения сита в случае наиболее распространенного в сепараторах для семян подсолнечника продольного возвратно-поступательного движения. На рис. 2.4 показана схема плоского сита с продольным возвратно-поступательным движением, создаваемым кривошипно-шатунным механизмом.

Если длина шатуна AB большая по сравнению с кривошипом, то точка B будет совершать такое же гармоническое колебание, как и точка A' , которая является проекцией равномерно перемещаемой по окружности точки A на горизонтальную ось.

При этом точка A' совершает гармоническое колебание. В сепараторах, применяемых для очистки семян подсолнечника, обычно $AB = 600$ мм и $OA = 5$ мм, т. е. выдерживается приведенное выше условие. Поэтому для выяснения характера движения точек сита достаточно установить характер движения точки A' .

Путь, проходимый точкой A'

$$S = R(1 - \cos \psi), \quad (2.3)$$

где $\psi = \omega t$ — угол поворота кривошипа; $\omega = \pi v/30$ — угловая частота.

Скорость

$$dS/dt = v = R d\psi/dt \sin \psi = R\omega \sin \psi. \quad (2.4)$$

Ускорение

$$dv/dt = a = R\omega^2 \cos \psi. \quad (2.5)$$

Полученные три уравнения определяют кинематику движения сита.

Рассмотрим теоретические вопросы движения семян по наклонному сити с горизонтальными колебаниями.

Схема движения представлена на рис. 2.5.

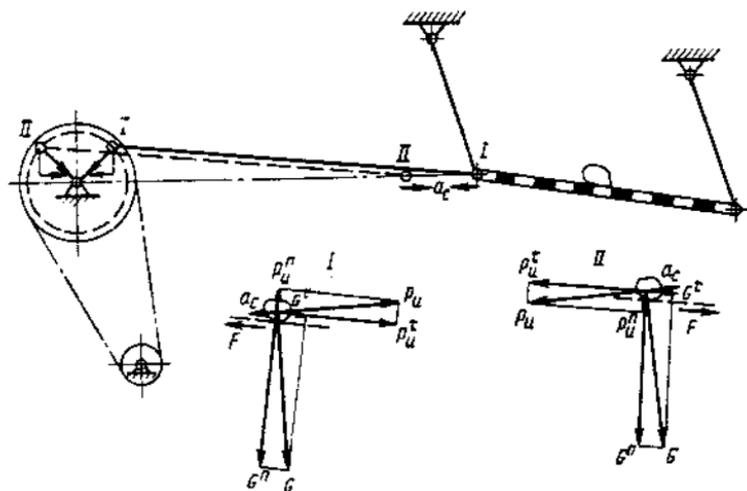


Рис. 2.5. Движение частицы продукта по наклонному сити с горизонтальными колебаниями

Элемент продукта на движущемся сите находится под действием силы тяжести G , силы инерции $P_{\text{и}}$ и силы трения F .

При большой длине подвесок угол наклона сита α будет оставаться практически неизменным, тогда постоянными будут и составляющие силы тяжести: касательная $G_{\tau} = G \sin \alpha$, которая является движущей силой, и нормальная $G^n = G \cos \alpha$.

Сила инерции будет меняться как по величине, так и по направлению.

Разложим ее на составляющие аналогично силе тяжести

$$P_{\text{и}\tau} = P_{\text{и}} \cos \alpha = (G/g) R \omega^2 \cos \omega \tau \cos \alpha \quad (2.6)$$

$$P_{\text{и}}^n = P_{\text{и}} \sin \alpha = (G/g) R \omega^2 \cos \omega \tau \sin \alpha \quad (2.7)$$

Сила трения

$$F = f (G^n \pm P_{\text{и}}^n) \quad (2.8)$$

Движение частицы вниз по ситы возможно при условии

$$G_{\tau} + P_{\text{и}\tau} \geq f (G^n - P_{\text{и}}^n) \quad (2.9)$$

После преобразований с учетом $\cos \omega \tau = 1$ и $f = \operatorname{tg} \varphi$, где φ — угол трения, получим

$$\omega^2 R/g \geq (f \cos \alpha - \sin \alpha) / (\cos \alpha + f \sin \alpha) \quad (2.10)$$

Отсюда, с учетом $\omega = \pi n/30$, n — число колебаний (оборотов вала), об/мин

$$n_{\min} = 30 \sqrt{\frac{\operatorname{tg}(\varphi - \alpha)}{R}} \quad (2.11)$$

Движение частицы вверх по ситы возможно при условии

$$P_{\text{и}\tau} - G_{\tau} \geq f (G^n + P_{\text{и}}^n) \quad (2.12)$$

Отсюда после преобразования

$$n_{\max} = 30 \sqrt{\frac{\operatorname{tg}(\varphi + \alpha)}{R}} \quad (2.13)$$

Рабочая частота колебаний принимается

$$n_{\text{раб}} = (1,5 \dots 2) n_{\max} \quad (2.14)$$

или из соотношения $2R n_{\text{раб}} = 2,7$ м/мин, соответствующему оптимальному просеиванию.

Производительность сита (кг/час) может быть определена по соотношению

$$Q = 60 B h n_{\text{раб}} S_{\text{о}} \rho_{\text{ц}}, \quad (2.15)$$

где B — ширина сита, м; h — высота слоя семян на сите, м; S_0 — перемещение семян по сити за один оборот кривошипа (практически принимается $0,02...0,03$ м); ρ — объемная масса слоя семян, кг/м³; μ — коэффициент разрыхления слоя семян на сите.

Рассмотрим перемещение частицы без подбрасывания при прямолинейных гармонических колебаниях опорной плоскости.

Составим уравнения относительного движения частицы для случая (рис. 2.6), соответствующего относительной скорости x' в положительном направлении оси X

$$m x'' = P \cos \beta - G \sin \alpha - F \quad (2.16)$$

$$m y'' = P \sin \beta - G \cos \alpha + N \quad (2.17)$$

При гармонических колебаниях наклонной плоскости переносное ускорение можно принять

$$a_n = -R\omega^2 \sin \omega t, \quad (2.18)$$

где R — амплитуда колебаний; ω — частота колебаний.

Поэтому

$$P = -ma_n = mR\omega^2 \sin \omega t \quad (2.19)$$

Учитывая, что $G = mg$ и $F = fN$, перепишем уравнения (2.16) и (2.17) в следующем виде:

$$m x'' = mR\omega^2 \cos \beta \sin \omega t - mg \sin \alpha - fN, \quad (2.20)$$

$$m y'' = mR\omega^2 \sin \beta \sin \omega t - mg \cos \alpha + N \quad (2.21)$$

Для относительного движения без подбрасывания $y = \text{const}$ и $y'' = 0$, что позволяет из формулы (2.21) определить нормальную реакцию N

$$N = mg \cos \alpha - mR\omega^2 \sin \beta \sin \omega t \quad (2.22)$$

При отсутствии подбрасывания реакция N должна сохранить положительное направление за весь период колебания, даже когда второй член правой части равенства (2.22) принимает наибольшее значение ($\sin \omega t = 1$). Поэтому условие безотрывного движения частицы имеет вид $N > 0$ или

$$g \cos \alpha / R\omega^2 \sin \beta \sin \omega t = z_0 > 1 \quad (2.23)$$

Подставляя значение N из формул (2.22) и (2.20), получаем после сокращения на m и элементарных преобразований

$$x'' = R\omega^2 (\cos \beta + f \sin \beta) \sin \omega t - g (\sin \alpha - f \cos \alpha), \quad (2.24)$$

заменяя $f = \text{tg} \rho$, приводим уравнение (2.24) к виду

$$x'' = R\omega^2 [\cos(\beta - \rho) / \cos \rho] [\sin \omega t - (g/R\omega^2) \sin(\alpha + \rho) / \cos(\beta - \rho)] \quad (2.25)$$

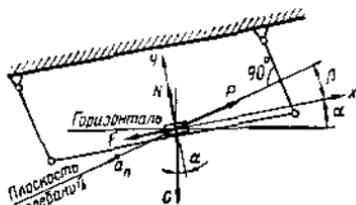


Рис. 2.6. Схема движения частицы по сити

Если направление относительной скорости частицы противоположно рассмотренному, то в уравнении (2.16) знак плюс перед силой F должен быть заменен на знак минус. В этом случае после преобразований, аналогичных выполненным, придем к уравнению

$$x'' = R\omega^2 [\cos(\beta + \rho)/\cos\rho] [\sin\omega t - (g/R\omega^2)\sin(\alpha - \rho)/\cos(\beta + \rho)] \quad (2.26)$$

Обобщая уравнения (2.25) и (2.26), представим их в следующем виде:

$$x'' = a_{\pm} (\sin\delta - z_{\pm}), \quad (2.27)$$

где $\delta = \omega t$;

$$a_{\pm} = R\omega^2 [\cos(\beta' \pm \rho)/\cos\rho] \quad (2.28)$$

$$z_{\pm} = (g/R\omega^2)\sin(\alpha \pm \rho)/\cos(\beta \pm \rho) \quad (2.29)$$

Предельно возможные условия начала скольжения в обоих направлениях определяются равенствами

$$z_+ = (g/R\omega^2)\sin(\alpha + \rho)/\cos(\beta - \rho) \quad (2.30)$$

$$z_- = (g/R\omega^2)\sin(\alpha - \rho)/\cos(\beta + \rho) \quad (2.31)$$

Для определения начала движения вниз и вверх при горизонтальных колебаниях ($\alpha = -\beta < 0$) $z_+ < 1$ и $z_- < 1$, тогда

$$(R\omega^2)_+ > g \operatorname{tg}(\rho - \beta) (\pi^2 n_+^2 / 900) R > g \operatorname{tg}(\rho - \beta) n_+ > 29,9 \sqrt{\frac{\operatorname{tg}(\rho - \beta)}{R}} \quad (2.32)$$

$$(R\omega^2)_- > g \operatorname{tg}(\rho + \beta) (\pi^2 n_-^2 / 900) R > g \operatorname{tg}(\rho + \beta) n_- > 29,9 \sqrt{\frac{\operatorname{tg}(\rho + \beta)}{R}} \quad (2.33)$$

Для предельной максимальной скорости получено

$$n_{\max} = \frac{30}{\sqrt{R \operatorname{tg}\beta}} \quad (2.34)$$

По теории вибротранспортирования Блехмана при движении семян по колеблющемуся сита без пауз скорость транспортирования $v = n_{\text{раб}} S_0$ может быть определена по уравнению

$$v = R\omega \cos\beta \cos\epsilon \sqrt{1 - \left(\frac{\epsilon z_+}{\sin\epsilon}\right)^2} \left[\frac{2}{\pi} \operatorname{ftg}\beta \left(\operatorname{tge} - \epsilon + \frac{\pi}{2} \right) - 1 \right], \quad (2.35)$$

где β — угол между направлением колебаний и поверхностью сита;

Порядок расчета скорости транспортирования следующий:

А. Проверка безотрывности движения ($z_0 > 1$) $z_0 = g \cos\alpha / R\omega^2 \sin\beta > 1$, где α — угол наклона поверхности сита к горизонту (при горизонтальных колебаниях $\alpha = -\beta < 0$).

Б. Определение $z_+ = (g/R\omega^2)\sin(\alpha + \rho)/\cos(\beta - \rho)$ и $z_- = (g/R\omega^2)\sin(\alpha - \rho)/\cos(\beta + \rho)$, где ρ — угол трения ($\operatorname{tg} \rho = f$).

В. Определение режима по диаграмме Блехмана (рис. 2.7).

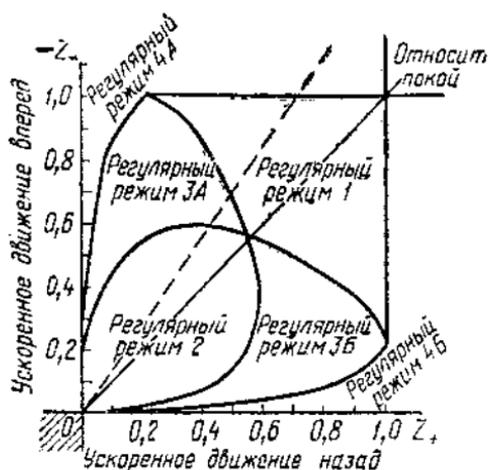


Рис. 2.7. Диаграмма режимов вибро-транспортирования (по Блехману)

Режим 1 — двустороннее скольжение частицы с двумя паузами.

Режим 2 — двустороннее скольжение частицы без пауз (с двумя мгновенными остановками).

Режим 3 — двустороннее скольжение частицы с одной паузой и одной мгновенной остановкой.

Режим 4 — скольжение частицы только в одном из направлений с одной паузой.

Г. Определение $K = z_+/z_-$; $\epsilon = \pi K/(K-1)$.

Д. Определение $\sin \epsilon$, $\operatorname{tg} \epsilon$, $\cos \epsilon$.

Е. Определение v .

Рассмотрим теоретические вопросы определения извлечения примесей на сите.

Для извлечения проходковых частиц необходимо попадание их в отверстия сита. Этот процесс носит вероятностный характер и, как предложил М. Н. Летошнев, эту вероятность можно рассчитать по соотношению

$$P = \frac{D}{c} \left(1 - \frac{2}{\pi} \xi \right), \quad (2.36)$$

где D — размер отверстия; c — шаг между отверстиями ($c = 1,5D$); $\xi = (l/2)/D$ (l — размер (длина) частицы).

После преобразования с учетом соотношения между шагом и диаметром отверстий

$$P = 0,667 - 0,425 \frac{l/2}{D}, \quad (2.37)$$

и в случае $(l/2) = D$ вероятность $P = 0,242$, а в случае $(l/2) = 0$ $P = 0,667$, т.е. в обоих предельных случаях $P < 1$.

Доля прошедших частиц через сито $N \sim P(L/L_s)$, где L_s — перемещение семян по сити длиной L за одно колебание.

Скользкая над отверстием частица может провалиться в отверстие, если за время движения над отверстием она, как минимум, опустится в отверстие на половину своего размера.

Для случая горизонтального сита за время τ горизонтальный путь $(D - d/2) = v\tau$ будет соответствовать вертикальному пути $d/2 = g\tau^2/2$. Исключая время, получаем неравенство

$$v \leq \left(D - \frac{d}{2} \right) \sqrt{\frac{g}{d}}. \quad (2.38)$$

Для расчета изменения количества примесей по длине сита, при условии их равномерного первоначального распределения в слое, Е. А. Непомнящий, приняв диффузионную модель движения частиц в слое на колеблющемся сите, получил формулу

$$E = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=1}^{m=\infty} \frac{1}{(2m-1)^2} \exp \left[- \frac{(2m-1)^2 \pi^2}{16H^2} \right]. \quad (2.39)$$

Для длинного сита уравнение можно упростить, ограничившись одним членом ряда

$$E = 1 - 0,81 \exp [-0,619/H^2], \quad (2.40)$$

где $H = h/\sqrt{2b_1} = 0,0915h/\sqrt{Lb/S_0 n_p} = 0,152 \cdot 10^{-4} (Q/V\rho_n)/\sqrt{LbS_0 n_p}$ — определяющий параметр; h — толщина слоя семян на сите, см; V и L — толщина и длина сита, см; S_0 — перемещение семян по сити за один оборот вала кривошипа, см; n_p — рабочая частота вращения кривошипа, об/мин; ρ_n — объемная масса семян, кг/см³; Q — производительность сита, т/ч; b — коэффициент сепарирования, см²/с (для семян подсолнечника на ситах с круглыми отверстиями $b = 0,15...0,18$ см²/с).

Теоретические вопросы пневмосепарирования

Принцип воздушной сепарации использован практически во всех сепараторах, применяемых для масличных семян. Объясняется это срав-

нительной простотой пневмосепарирующих устройств и различием аэродинамических свойств примесей и семян.

Наибольшее распространение, благодаря конструктивной простоте и компактности устройств, получил способ сепарирования смеси семян с примесями в вертикальном воздушном потоке.

В вертикальном восходящем потоке воздуха силы тяжести G и силы сопротивления R , действующие на частицу, всегда направлены в противоположные стороны, и в зависимости от их соотношения существуют три возможных случая: $R < G$ — частица движется вниз; $R > G$ — частица движется вверх, $R = G$ — частица находится в равновесии. Последний случай соответствует состоянию витания, а скорость воздуха, при котором это состояние наступает, является скоростью витания (см. разд. «Свойства маслических семян как объекта сушки и очистки»).

В современной практике конструирования пневмосепарирующих устройств скорость витания — основная характеристика, определяющая возможность разделения семян и примесей.

Несмотря на простоту процесса, аналитическое решение задачи по определению траекторий, скоростей и ускорений семян и примесей при взаимодействии их с воздушным потоком затруднено, и прежде всего по следующим причинам: смесь семян и примесей поступает в канал многослойным потоком, в зоне сепарирования происходит соударение частиц, изменяется скорость воздушного потока в пространстве между частицами, нарушается равномерность поля скоростей воздушного потока и т.п.

В связи с этим процесс сепарирования рассмотрен на примере элементарной частицы с рядом допущений о равномерности воздушного потока, отсутствии взаимодействия частиц и т.п.

В пневмосепарирующий канал (рис. 2.8) частица поступает под углом α к горизонтالي с некоторой начальной скоростью C_0 и встречается с вертикальным потоком, как в большинстве сепараторов для очистки семян.

Воздушный поток действует на зерновку в начальный момент со скоростью v_0 . Зная значение начальной скорости зерновки C_0 и воздушного потока v_0 , можно в соответствии с векторным уравнением $\bar{C}_0 = \bar{v}_0 + \bar{u}_0$ и пла-

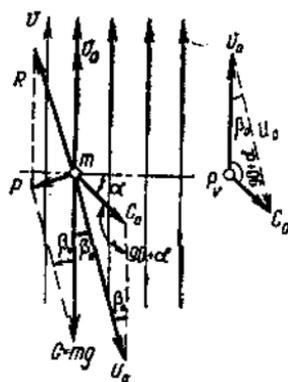


Рис. 2.8. Схема действия вертикального воздушного потока на частицу и планы скоростей:

Начиная с момента встречи с воздушным потоком, движение частицы можно рассматривать как сложное, состоящее из переносного (с воздушным потоком) и относительного (относительно потока)

нами скоростей определить величину и направление скорости частицы в относительном движении

$$u_0 = \sqrt{v_0^2 + C_0^2 - 2v_0C_0 \cos(90 + \alpha)} = \sqrt{v_0^2 + C_0^2 + 2v_0C_0 \sin \alpha} \quad (2.41)$$

Направление скорости, определяемое углом к направлению воздушного потока β_0 , можно получить из выражения

$$\sin \beta_0 = \frac{C_0}{u_0} \sin(90 + \alpha) \quad \text{или} \quad \sin \beta_0 = \frac{C_0}{u_0} \cos \alpha \quad (2.42)$$

Сила сопротивления воздушного потока, действующая на частицу в направлении, противоположном относительной скорости

$$R = c_D f_m \frac{\rho u_0^2}{2} \quad (2.43)$$

Здесь c_D — коэффициент лобового сопротивления частицы; f_m — миделево сечение; ρ — плотность воздуха.

В итоге движение частицы определится действием результирующей силы R , величину которой можно определить как

$$P = \sqrt{G^2 + R^2 - 2GR \cos \beta_0} \quad (2.44)$$

В главе 1 дана методика построения траекторий частиц в относительном и абсолютном движении. В качестве примера на рис. 2.9 показаны траектории частиц (по данным А. Я. Малиса) с различными скоростями витания при $C_0 = 0,3$ м/с, $v = 6$ м/с и $\alpha = 45^\circ$.

Как видно из рис. 2.9, все частицы вначале движутся вниз под некоторым углом, затем наиболее легкие из них (примеси с малыми $v_{\text{вит}}$) довольно резко меняют направление и уносятся вверх воздушным потоком. У частиц со скоростью витания, близкой к скорости воздушного потока, траектория в начальной части нисходящая, а затем приближается к горизонтальной прямой.

Частицы со скоростями витания большими скорости воздушного потока движутся по нисходящей траектории с увеличивающейся крутизной по мере удаления от места поступления в канал, причем с увеличением $v_{\text{вит}}$ частицы крутизна траектории увеличивается. Такая законо-

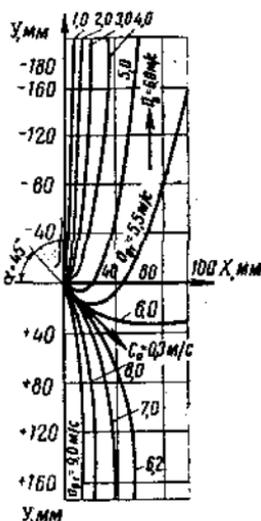


Рис. 2.9. Траектории частиц с различными скоростями витания

мерность сохраняется и для других условий сепарирования. Траектории и величины скоростей и ускорений зерновок и примесей влияют на эффективность и четкость сепарирования.

Особенно неблагоприятные условия сепарирования возникают при многослойном поступлении смеси в канал с высокой удельной нагрузкой по разделяемой смеси. Объясняется это распределением примесей по всей толщине слоя; прежде чем отделиться, они должны перейти в верхний слой сепарируемой смеси. Обычно это происходит уже в канале. Другое обстоятельство, затрудняющее сепарирование, связано с взаимодействием частиц с разными скоростями витания: при больших нагрузках на канал массивированный поток зерен сбивает легкие примеси, увлекая их по направлению своего движения.

Обеспечение достаточной эффективности процесса требует увеличения ширины канала, а следовательно, и расхода воздуха. Соответственно увеличивается энергоемкость процесса. По данным ряда исследователей, на очистку тонны зерна требуется воздуха от 600 до 1500 м³/ч или весовая концентрация $M_g = G/1,2Q$, соответственно, составляет 1,4—0,55; здесь G и Q — часовая подача зерновой смеси (кг) и часовой расход воздуха (м³).

В последние годы созданы конструкции специальных вибропитающих устройств для ввода разделяемой смеси в пневмосепарирующие каналы, что помогает самосортированию смеси, и в канал она поступает в виде двухслойного потока: верхний слой — легкие примеси, нижний — семена. Это позволяет намного увеличить эффективность процесса пневмосепарирования.

Сепараторы для семян подсолнечника

В сепараторах обычно применяются несколько сит, выполняющих разные функции и расположенных в соответствующей последовательности.

Характерная схема расположения сит в сепараторе ЗСМ. Первое по ходу движения сепарирующей смеси сито является приемным, оно имеет крупные отверстия, и с него сходом идут крупные сорные примеси, а проходом — семенная масса с мелкими примесями. Затем семенная масса попадает на сортировальные сита, где сходом идут крупные чистые семена, а проходом — мелкие семена и примеси, которые попадают на подсевные сита, где проходом отделяется мелкий сор (подсев).

В зерновых сепараторах часто используют параллельно одноименные сита с тем, чтобы равномерно загрузить все сита и получить наибольшую эффективность и производительность.

В сепараторах также используют степень различия семян и примесей по аэродинамическим свойствам, а именно по скорости витания. Ком-

бинированные машины (зерноочистительные сепараторы) оборудуются вертикальными пневмосепарирующими каналами.

Эффективность сепарирования в пневмосепарирующем канале зависит от степени различия семян и примесей по скорости витания, от условий поступления смеси в канал и его конструкции. Важна стабильность скорости воздушного потока и подачи материала на сепарирование.

Для отделения металлопримесей (ферропримесей) применяют специальные электромагнитные сепараторы, а также устанавливают магниты в зерноочистительные сепараторы.

На маслозаводах применяют разнообразные зерновые сепараторы: ЗСП-5, ЗСП-10, ЗСМ-10, ЗСМ-20, ЗСМ-50, ЗСМ-100, ПДП-10, ЗСП-10У, КДП-80, КДП-100. При различии типоразмеров и марок сепараторов по конструкции они имеют много общего. Основные узлы очистительных сепараторов, смонтированные на общей станине, следующие: приемное устройство для семян с питательным приспособлением; ситовые рамы в кузове; аспирационная система; приводной механизм.

Сепаратор ЗСМ. Рассмотрим общее устройство и работу сепаратора ЗСМ (рис. 2.10). Сепаратор состоит из следующих основных узлов: станины металлической разборной конструкции 1, электродвигателя привода колебателя 2, двух ситовых кузовов 3 и 4, эксцентрикового колебателя 5, приемного сита 6, канала первой продувки 7, приемной коробки 8, приемного патрубка 9, осадочных камер 10 и 11, очистителей сит 12, канала второй продувки 13.

Ситовые кузова представляют собой конструкцию типа пакетов. Каждый кузов подвешен к станине на четырех плоских стальных пружинах-подвесках, расположенных вертикально.

Верхний ситовый кузов имеет три ряда сит. Первое сито, короткое приемное, наклонено под углом 6°. На нем установлены сита с крупными круглыми отверстиями (Ø18 мм). Это сито предназначено для отделения крупных примесей, идущих сходом. Остальные два сита в верхнем кузове аналогичны двум ситам в нижнем кузове.

Верхнее из этих двух сит в кузове является сортировочным с круглыми отверстиями Ø8—10 мм, оно установлено под углом 11°. Здесь сходом идут крупные семена, а проход поступает на нижнее подсевное сито с круглыми отверстиями Ø3 мм, где отделяется мелкая примесь (подсев).

Под каждым ситом движется инерционный очиститель отверстий сит. Обоим ситовым кузовам (верхнему и нижнему) сообщается возвратно-поступательное движение от эксцентрикового колебателя, укрепленного на передних стенках верхнего и нижнего кузовов. Привод колебателя осуществляется от электродвигателя через ременную передачу.

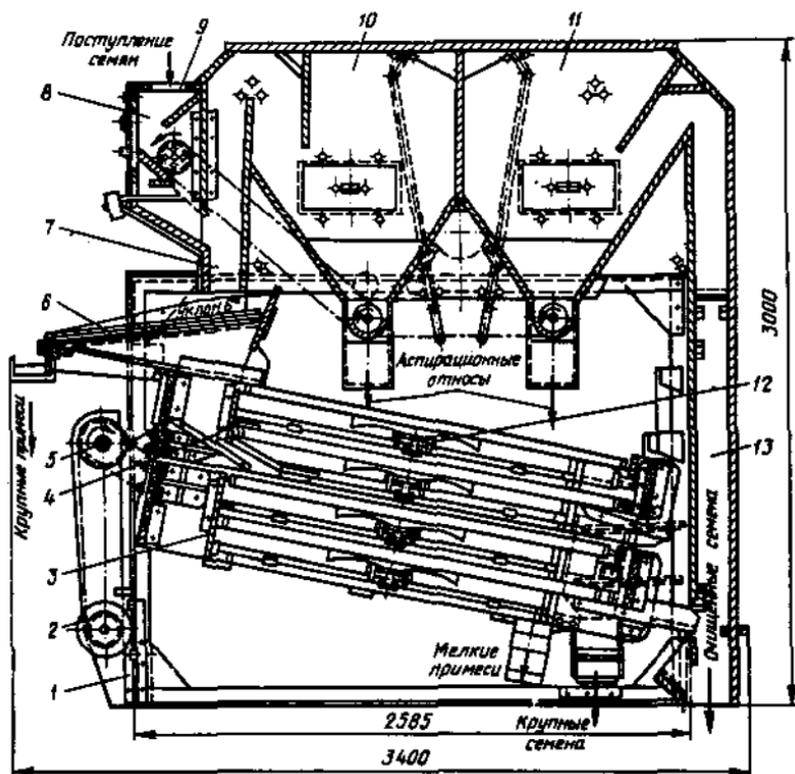


Рис. 2.10. Сепаратор ЗСМ

Аспирационная система сепаратора состоит из двух каналов со своими камерами. Канал первой продувки расположен смежно с приемной коробкой, а канал второй продувки — с противоположной стороны сепаратора, где происходит выпуск очищенных семян. Осадочные камеры расположены над ситовыми кузовами и крепятся на станине. Снизу к осадочным камерам присоединены шнеки для вывода отделенного сора. Осадочные камеры имеют в крышках прямоугольные отверстия для подсоединения всасывающего воздуховода к отдельно установленному вентилятору производительностью $300 \text{ м}^3/\text{мин}$. Скорость воздуха в аспирационной системе регулируется шиберами.

Сепаратор работает следующим образом. Семена через приемный патрубок поступают в приемную коробку. Равномерность распределения семян по всей ширине питающей щели приемной коробки обеспечивается работой шнека с поворотными витками и грузовыми клапанами, ко-

торые открываются под действием силы тяжести. Слой семян равномерной толщины по всей ширине поступает в аспирационный канал первой продувки. Вертикальный воздушный поток интенсивно обрабатывает массу семян и уносит легкие примеси в осадочную камеру, а основная масса семян попадает на приемное сито. Здесь семена идут проходом, а крупные примеси идут сходом. Лотковым делителем поток семян делится поровну на два ситовых кузова, работающих параллельно. Вначале семена в ситовом кузове попадают на сортировочное сито, где сходом идут крупные семена, а проход попадает на подсевное сито, где проходом отделяют мелкие примеси (подсев). Сход с подсевных сит поступает в аспирационный канал второй продувки, где семена вторично продуваются вертикальным воздушным потоком. При этом легкие примеси отделяются от семян и уносятся в осадочную камеру. Аспирационные отходы из обоих конусов осадочных камер транспортируются шнеками, в конце которых имеются клапаны. Нормальное положение клапанов закрытое и открываются они только под действием отсосов, выпрессовываемых шнеками. Запыленный воздух из осадочных камер отсасывается вентилятором и поступает в циклон.

Крупный сор, идущий сходом с приемного сита, попадает в поперечный лоток и выводится из машины. Подсев с верхнего и нижнего кузовов поступает на сборные днища, объединяется внутри машины и направляется в поперечный лоток, по которому выводится из машины. Поток очищенных семян от ферропримесей не освобождается, так как сепаратор не имеет магнитов.

Паспортные кинематические параметры сепаратора ЗСМ (амплитуда 5 мм и частота колебаний ситового кузова 500 колебаний в мин) применительно к очистке семян подсолнечника не являются оптимальными и должны быть изменены (амплитуда 6,35 мм и частота ситового кузова 425 колебаний в мин).

Расчет затрат энергии на работу сепаратора ведется по следующим соотношениям

$$N = N_{\text{сит}} + N_{\text{вент}} \quad (2.45)$$

$$N_{\text{сит}} = N_{\text{кач. сита}} + N_{\text{тр. сем.}} \quad (2.46)$$

Работа (Дж), совершаемая при колебании качающейся системы массой m за один оборот кривошипа

$$T = 2mv^2/2 = mv^2, \quad (2.47)$$

где $v = \pi nR/30$.

Соответствующая мощность (кВт)

$$N_{\text{кач. сита}} = Tn/60 \cdot 1000 \cdot \eta, \quad (2.48)$$

где η — к.п.д. передаточного механизма (принимается 0,7).

Мощность (кВт), необходимая для преодоления сил трения между ситом и семенами

$$N_{\text{тр. сем.}} = F_{\text{ср}} S_0 n / 60 \cdot 1000, \quad (2.49)$$

где $F_{\text{ср}}$ — средняя сила трения, Н; S_0 — полное перемещение семян по сити за один оборот вала кривошипа, м; $S_0 n = v$ — скорость транспортирования.

Мгновенное значение силы трения

$$F_{\psi} = f (G^n \pm P_{\text{н}}^n) = f (mg \cos \alpha \pm mR\omega^2 \cos \psi \sin \alpha). \quad (2.50)$$

Соответственно, среднее значение силы трения

$$F_{-p} = \int_0^{2\pi} \frac{F_{\psi}}{2\pi} d\psi = \frac{fmg \cos \alpha}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\psi - \frac{fmR\omega^2 \sin \alpha}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos \psi d\psi = fmg \cos \alpha. \quad (2.51)$$

Масса семян, находящихся на сите

$$m = Qt, \quad (2.52)$$

где Q — производительность сита, кг/с.

Время прохождения семян по всей длине сита (с)

$$\tau = 60L/S_0 n = 60 L/v. \quad (2.53)$$

Мощность, необходимая для работы вентилятора

$$N_{\text{вент}} = VH/1000\eta, \quad (2.54)$$

где V — производительность вентилятора, м³/с; η — к.п.д. вентилятора; H — полное давление, создаваемое вентилятором, Па.

$$H = H_{\text{ст}} + H_{\text{д}}. \quad (2.55)$$

Для определения $H_{\text{ст}}$ необходимо рассчитать аспирационную систему сепаратора.

$$H_{\text{д}} = \rho u^2/2, \quad (2.56)$$

где $u = \sqrt{v_{\text{кр}}^2 v_{\text{кр}}^*}$ — скорость воздуха в аспирационном канале, равная средней геометрической скоростей витания разделяемых компонентов.

Рассмотрим конструкции основных узлов сепаратора.

Питающие устройства. Они обеспечивают стабильную подачу и равномерное распределение семян по всей ширине рабочего органа сепаратора (аспирационного канала, ситовой поверхности).

Бункерные приемно-распределительные устройства с грузовым или подпружиненным клапаном дока еще применяют в машинах с небольшим фронтом подачи материала. Например, в сепараторе ЗСМ-10 рас-

пределительное устройство — заслонка с противовесом (рис. 2.11 а). Она имеет ось в средней части квадратного сечения. К оси прикреплен рычаг с грузом и заслонка. Масса груза и его положение на рычаге могут изменяться с целью создания момента силы, противодействующего массе столба семян в бункере. Так как семена подсолнечника имеют меньшую объемную массу, чем зерно, то масса груза питательного клапана на сепараторе ЗСМ-100 уменьшена с паспортного 4,99 до 2,79 кг. Недостатком такого распределительного устройства является возможность заклинивания крупных примесей в щели. В результате, на этом участке семена не проходят. Сепараторщик должен внимательно следить за работой питающего устройства и при необходимости прочищать щель.

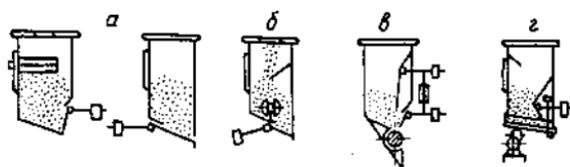


Рис. 2.11. Питающие устройства:

а — заслонка с противовесом, б — распределительный шнек, в — двухклапанный механизм и питающий валик, г — вибрлотковое устройство с грузовым клапаном

Переход к более производительным сепараторам ЗСМ-50 и ЗСМ-100 с увеличенной шириной рабочих органов требует установки в бункере распределительных шнеков (рис. 2.11 б), без этого равномерность по фронту подачи заметно ухудшается.

В качестве распределительных устройств могут быть использованы бункер с двухклапанным механизмом и питающим валиком (рис. 2.11 в), а также вибрлотковое устройство с грузовым клапаном (рис. 2.11 г).

Ситовые сепарирующие устройства. Они обеспечивают выделение сорных примесей, отличающихся от семян размерами. По характеру движения наиболее распространены ситовые устройства с прямолинейными колебаниями. В последнее время в новых сепараторах используются круговые колебания в горизонтальной плоскости. Сита в сепараторах обычно располагаются наклонно.

Ситовые кузова зерновых сепараторов изготавливают из фанерного шита толщиной 20 и 30 мм. Деревянные детали сепараторов при попадании влаги и действии низких температур разрушаются, и в последние годы наметился переход к выпуску сепарирующих машин в цельнометаллическом исполнении.

Конструкция верхнего и нижнего ситовых кузовов смонтирована на сварной раме из стандартных профилей. К раме на винтах крепятся бо-

ковые накладки с окнами и поддоны. Ситовые рамы вставлены в направляющие и закреплены зажимами.

Инерционный очиститель. Под каждым рядом сит находится инерционный очиститель (рис. 2.12), который очищает отверстия сит от застрявших семян. Основные части очистительного инерционного механизма: тележка 1, катящаяся на роликах по уголку под очищаемым ситом; тормозное и переключающее устройство 2, от положения которого зависит направление движения тележки; две плоские пружины 3, упруго прижимающие закрепленные на них очистители 4 к нижней поверхности сита. Очистители бывают в виде круглых щеток или набора резиновых пластин.

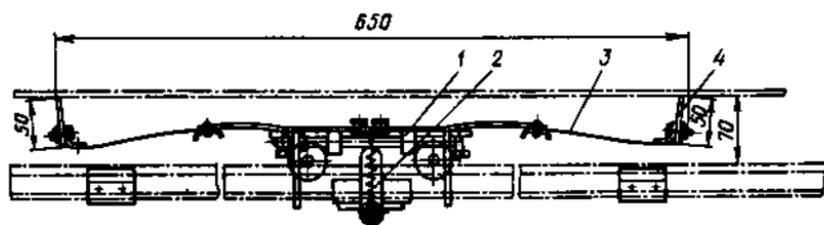


Рис. 2.12. Инерционный очиститель

Очиститель работает следующим образом. В зависимости от положения перебрасывающего хомута движение тележки в одном направлении тормозится, и имеется возможность двигаться в противоположном направлении под действием сил инерции, передаваемых ситовому кузову от внешнего колебателя. Достигая в своем движении крайнего положения, хомут с помощью упора перебрасывается в противоположное положение, и, соответственно, тормоз меняет направление торможения, позволяя движение в обратном направлении. Таким образом, очиститель будет непрерывно перемещаться между левым и правым крайним положениями, пока колеблется ситовый кузов. Очистители, двигаясь вместе с тележкой, прижимаются к нижней поверхности сита и (в случае круглых щеток) их упругий волос прокалывает отверстия сита снизу и выталкивает застрявшие семена, а в случае набора резиновых пластин также происходит выталкивание застрявших семян. Щетки быстрее изнашиваются, поэтому их заменяют на набор резиновых пластин.

Эксцентриковый и самобалансный колебатели ситовых кузовов. Эти устройства обеспечивают прямолинейное колебание в горизонтальной плоскости. Эксцентриковый колебатель конструкции А. Я. Моргуна (рис. 2.13) сообщает колебания одновременно обоим ситовым кузовам

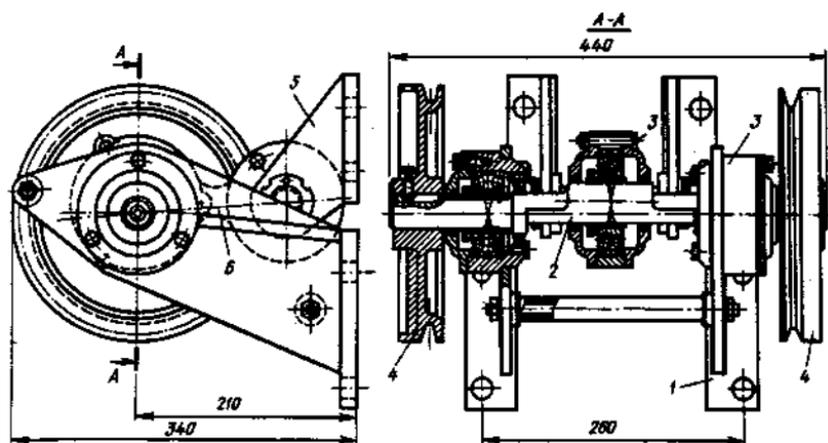


Рис. 2.13. Эксцентрикый колебатель конструкции А. Я. Моргуна

сепаратора. Он состоит из двух кронштейнов *1* и *5*, один из которых крепится к верхнему ситовому кузову, а другой — к нижнему, эксцентрикового вала *2* с насаженными на него тремя радиально-сферическими подшипниками *3* и двумя шкивами *4*. Корпус среднего подшипника эксцентрикового вала соединен тягой *6* с корпусом подшипника, сидящего на валике кронштейна *5*. Остальные два крайних подшипника эксцентрикового вала закреплены в кронштейне *1*.

Вращательное движение от электродвигателя через ременную передачу передается на шкивы, сидящие на эксцентриковом валу. Тем самым эксцентриковый вал получает вращение. При этом за счет эксцентриситета кронштейны, а следовательно, и оба ситовых кузова получают колебательное в противофазе движение. Такое колебание двух ситовых кузовов рационально, так как при примерном равенстве масс кузовов удары при перемене направления движения компенсируются.

Более полная уравновешенность достигается при применении самобалансного колебателя (рис. 2.14). Он состоит из двух шкивов, насаженных на втулки, которые надеты на оси. Оси шкивов расположены в вертикальной плоскости, и, соответственно, один шкив выше другого. Шкивы внутри имеют грузы, которые в вертикальной плоскости расположены под углом 180° один к другому.

На один из шкивов надет приводной плоский ремень, и вращение от этого шкива передается другому через пару цилиндрических шестерен. Вращение шкивов происходит с одинаковой скоростью в противоположных направлениях.

Принцип действия самобалансного колебателя заключается в том, что при вращении утяжеленных с одной стороны шкивов на каждом из них возникает направленная радиально-центробежная сила (рис. 2.15). При указанном расположении грузов центробежные силы обоих шкивов в горизонтальном направлении складываются, а в вертикальном — взаимно уравновешивают друг друга. Складывающиеся центробежные силы в горизонтальном направлении действуют на ситовой кузов, к которому прикреплен колебатель, и приводят его в колебательное движение. При работе самобалансного колебателя не возникает ударов, и это обеспечивает его работу без вибраций.

Характер колебания ситового кузова вместе с самобалансным колебателем в случае пренебрежения перемещением центра тяжести корпуса по вертикали, упругостью его подвесок, сопротивлением среды, натяжением ремня и трением в шарнирах (т.е. если считать систему свободной в горизонтальной плоскости) может быть определен по теореме о количестве движения:

$$2m_1\omega R \sin \omega t = (m_x + 2m_1) dx/dt, \quad (2.57)$$

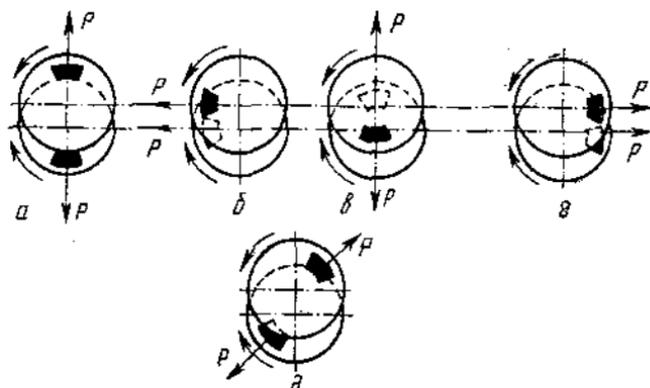


Рис. 2.15. Направления сил, возникающих в самобалансном колебателе

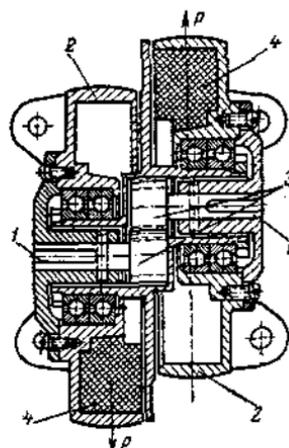


Рис. 2.14. Самобалансный колебатель

где dx/dt — скорость корпуса; m_x и m_r — масса корпуса и одного груза, кг; R — радиус вращения центра тяжести грузов, м; ω — угловая скорость вращающихся грузов, рад/с.

Интегрируя дифференциальное уравнение (2.57), найдем перемещение системы

$$x = -[2m_r/(m_x + 2m_r)]R \cos \omega t + C_1, \quad (2.58)$$

где C_1 — постоянная интегрирования, которую найдем из начальных условий $x = 0$ и $\omega t = \pi/2$, поэтому $C_1 = 0$, следовательно

$$x = -[2m_r/(m_x + 2m_r)]R \cos \omega t \quad (2.59)$$

Знак минус показывает, что при движении грузов, например вправо, ситовой кузов перемещается влево (и наоборот).

Таким образом, ситовой кузов вместе с самобалансным колебателем совершает гармонические колебания с амплитудой

$$A = [2m_r/(m_x + 2m_r)]R \quad (2.60)$$

В настоящее время разработан целый ряд новых машин для очистки зерна от примесей, которые могут быть применены и для очистки масличных семян.

В частности, рекомендуется использовать сепараторы А1-Б30, А1-БИС-100, А1-БИС-12, А1-БЦС-100 и камнеотборник РЗ-БКТ-100.

Барабанный сепаратор А1-Б30 (скальператор). Этот сепаратор предназначен для предварительной очистки зерна от грубых, крупных примесей (рис. 2.16).

Основным рабочим органом сепаратора является горизонтальное цилиндрическое сито 4 с круглыми отверстиями, причем сито по длине разделено на два участка с отверстиями разных размеров. На первой половине длины сита по ходу семян отверстия большого размера ($\varnothing 25$ мм), на второй половине — меньшего размера ($\varnothing 10$ мм). Эти размеры обусловлены видом перерабатываемых семян и характеристикой крупных примесей.

Для семян подсолнечника размеры отверстий на первой половине цилиндрического сита должны быть 20–25 мм, а на второй — 10–12 мм. Цилиндрическое сито имеет диаметр 950 мм и длину 1078 мм. Оно вращается с частотой 21 об/мин.

Цилиндрическое сито размещено в корпусе 5 и закреплено консольно на приводном валу 6, опирающемся на два подшипника 8. Вал 6 приводится в движение от электродвигателя 9 через клиноременную передачу и червячный редуктор 7.

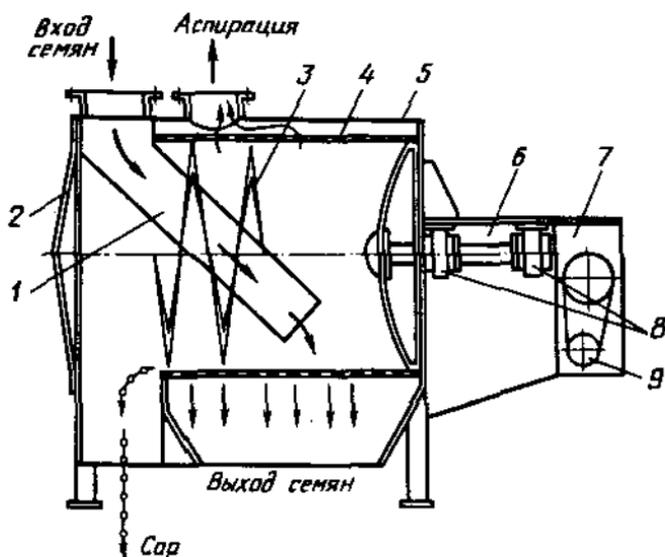


Рис. 2.16. Барабанный сепаратор А1-Б30 (скальператор)

На корпусе 5 имеются патрубки для входа и выхода семян, для вывода сора и подключения аспирации (расход воздуха на аспирацию $12 \text{ м}^3/\text{мин}$), которая снижает запыленность и одновременно отсасывает легкие примеси. Входной патрубок для семян соединен с наклонной точкой — лотком 1 для подачи семян на начальный участок сита. К корпусу снаружи цилиндрического сита укреплено на шарнирах прижимное пружиной шеточное устройство для очистки сита от застрявших в его отверстиях примесей. Внутри цилиндрического сита неподвижно закреплена спиральная лента (полоса) 3 высотой 100—150 мм с шагом примерно 150 мм в два витка. Эта спиральная лента обеспечивает надежное транспортирование к выходу крупных примесей по внутренней поверхности цилиндрического сита. Размещение спирали и выбранный шаг исключают вынос семян вместе с примесями в течку для вывода сора.

Техническая характеристика сепаратора А1-Б30

Производительность (по зерну), т/ч	100
Мощность электродвигателя, кВт	0,37
Расход воздуха на аспирацию, $\text{м}^3/\text{мин}$	12
Габаритные размеры, мм	2150 × 1130 × 1665
Масса, кг	400

В торце корпуса имеется закрытое крышкой отверстие 2, предназначенное для выемки цилиндрического сита (при необходимости).

Сепараторы А1-БИС-12, А1-БИС-100 и А1-БЛС-100. Эти сепараторы предназначены для очистки зерна и масличных семян от примесей, отличающихся по размерам (на ситах) и по аэродинамическим свойствам (в пневмосепарирующем канале). Сепараторы созданы с учетом использования опыта фирмы «Бюлер» (Швейцария) и выпускаются АО «Мельинвест» (г. Нижний Новгород). Схема сепаратора А1-БИС-12 приведена на рис. 2.17.

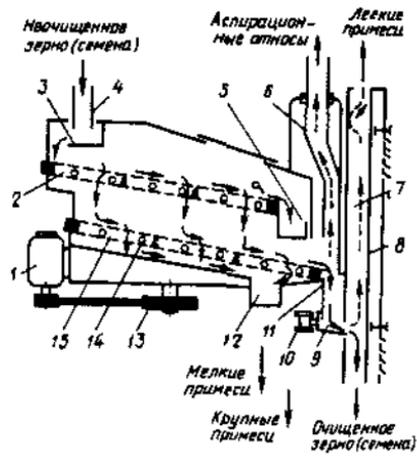


Рис. 2.17. Схема сепаратора А1-БИС-12

Очистка этих сит осуществляется с применением резиновых шаров 14, которые помещены в ситовые рамки. При колебаниях ситовых рам шары получают вертикальную составляющую движения, ударяются снизу о сито и выбивают застрявшие в отверстиях сита частицы. В целом, ситовый кузов укреплен на упругих подвесках и приводится от дебалансного механизма, который вращается с помощью электродвигателя 1 через ременную передачу и дебалансный шкив 13.

Исходные семена поступают в ситовый кузов через приемный патрубок 4 и распределительное днище 3 — на сортировочное сито 2. Как и в других ситовых сепараторах, сходом сортировочного сита (диаметр отверстия 12—14 мм) идут крупные примеси, которые выводятся по лотку 5. Проходом идут семена и мелкие примеси, которые сепарируются на подсевном сите 15 (диаметр отверстий 3 мм), где сходом идут семена

Основными рабочими органами этих сепараторов являются расположенные в два яруса наклонные плоские сита, совершающие круговое поступательное движение, и пневмосепарирующий канал.

Отличие сепаратора А1-БЛС-100 (и А1-БИС-100) от А1-БИС-12 заключается в том, что в каждом ярусе сит у сепаратора расположены по две ситовые рамы. Кроме того, этот сепаратор имеет большую ширину пневмосепарирующего канала и, соответственно, большие габариты.

Верхний ярус сит представляет сортировочные сита 2, а нижний ярус — подсевные сита 15.

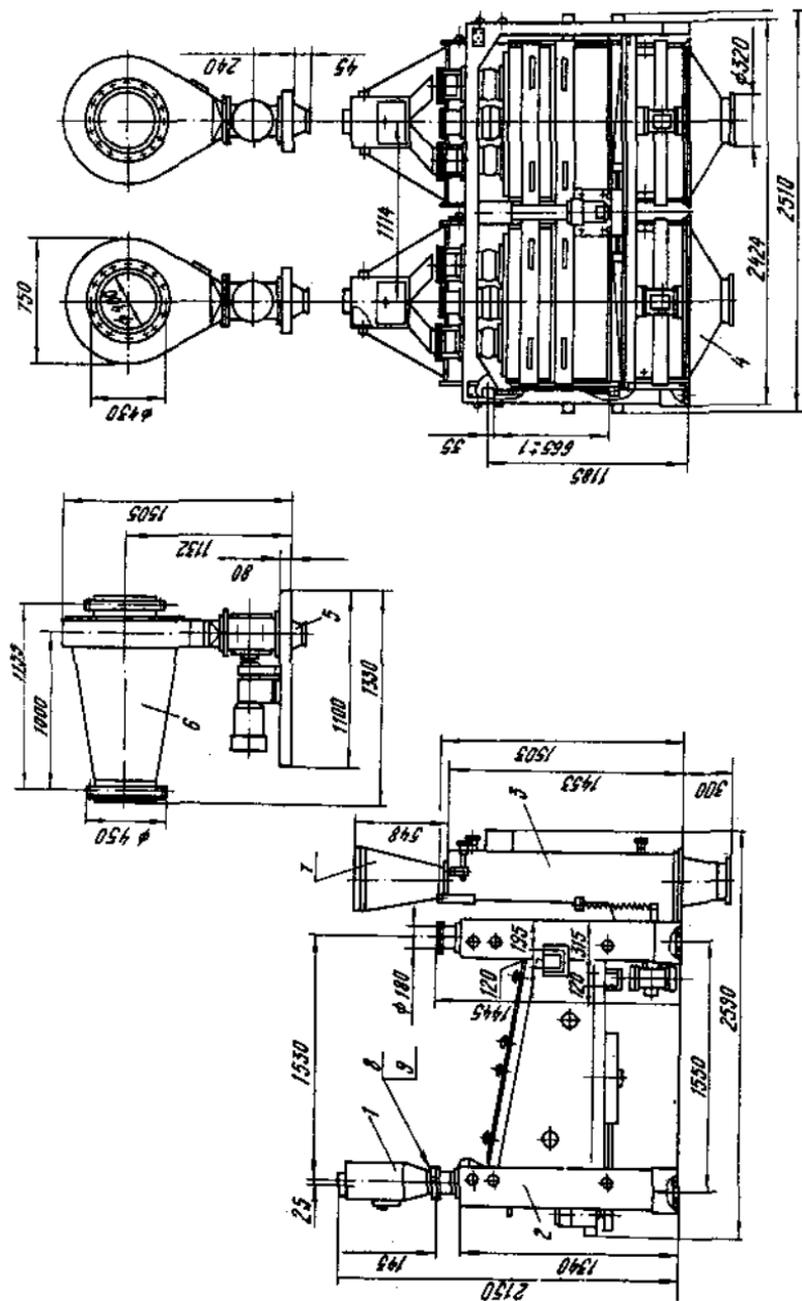


Рис. 2.18. Сепаратор А1-БЛС-100:

1 — распределитель; 2 — сепаратор; 3 — канал пневмосегарующий; 4, 5 — патрубki; 6 — циклон горизонтальный

и равновеликие им примеси, а проходом — мелкие примеси, которые выводятся из машины по лотку 12.

Сход с подсевного сита (семена и равновеликие им примеси) поступает в питающую коробку 11, в нижней части которой установлен вибролоток 9 с вибратором 10 для равномерного распределения сепарирующей смеси в пневмосепарирующем канале 7. Внутри пневмосепарирующего канала установлена подвижная стенка, изменением положения которой обеспечивается четкость выделения из семян легких примесей. Перемещение верхней и нижней частей подвижной стенки осуществляется поворотом рукоятки. Семена, имеющие большую скорость витания, чем примеси, выводятся снизу пневмосепарирующего канала, а легкие примеси — потоком воздуха со скоростью 5,1—5,3 м/с выносятся вверх в систему очистки воздуха.

Сепаратор А1-БЛС-100 (рис. 2.18) состоит из ситового сепаратора с двумя ярусами сит, двух пневмосепарирующих каналов, двух горизонтальных циклонов со шлюзовыми затворами и приводами, а также двух распределителей потока сырья. Ситовой сепаратор представляет собой закрытый кузов, подвешенный к станине на гибких подвесках. В нем размещены две параллельно работающие секции, в каждой из них в два яруса установлены выдвигающиеся ситовые рамки. На передней стенке кузова смонтирован приводной двигатель.

Техническая характеристика сепараторов

	А1-БЛС-100	А1-БИС-100	А1-БИС-12
Производительность, т/ч	100	100	12
Эффективность очистки, %	20	20	80
Частота кругового колебания ситового кузова, с ⁻¹	6,25	6	5,4
Радиус круговых колебаний ситового кузова, мм	11	9	9
Расход воздуха на пневмосепарирование и аспирацию, м ³ /ч	8500	8500	6000
Общая установленная мощность, кВт	2,88	1,38	1,38
Масса, кг	1820	1650	1450

Для выделения из зерна легких примесей служат пневмосепарирующие каналы. Горизонтальные циклоны предназначены для предварительной очистки воздушного потока от выделенных из зерна примесей, а шлюзовые затворы — для выпуска отходов из циклонов и предотвращения попадания в них из самотеков воздуха.

Виброцентробежный сепаратор А1-БЦС-100. Этот (рис. 2.19) сепаратор предназначен для очистки семян от разнообразных примесей (круп-

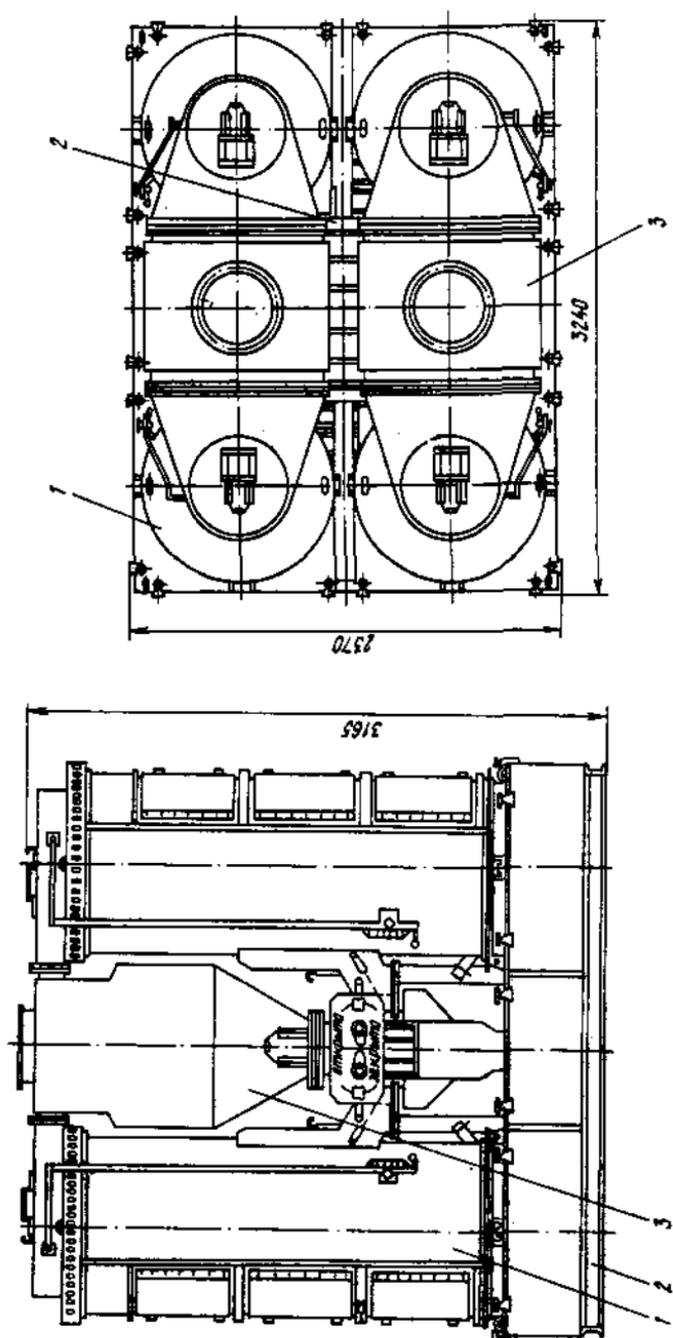


Рис. 2.19. Сепаратор А1-БЦС-100:
 1 — блок зерноочистительный; 2 — рама; 3 — отстойник

ных, мелких, легких). Он состоит из двух половин, каждая из которых включает в себя два унифицированных воздушно-ситовых блока, установленных на общей станине.

Блоки попарно соединены в верхней части отстойниками, выходные лотки — сборниками фракций. Каждый блок имеет рычаги управления режимом пневматической очистки семян и изменения величины загрузки. Половины сепаратора соединены болтами.

Схема одного из блоков показана на рис. 2.20. Он представляет собой вертикальный трехъярусный ситовый барабан 6, установленный на шарнирных опорах 15, которые крепятся к ротору 16. Каждый ярус ситового барабана имеет кольцевые поддоны 17 для приема проходových фракций и вывода их в отводные точки 18 в корпусе блока. Привод для вращения ротора 11 представляет собой электродвигатель с клиноременной передачей.

Техническая характеристика сепаратора А1-БЦС-100

Производительность по зерну, т/ч	100
Эффективность очистки, %	60–80
Расход воздуха, м ³ /ч	10000
Установленная мощность, кВт	9
Частота вращения сит, с ⁻¹	1,78
Амплитуда колебаний сит, мм	6
Диаметр решет (внутренний), мм	615
Площадь сит в одном блоке, м ²	2,6
Габаритные размеры, мм	3240 × 2370 × 3165
Масса, кг	5000

Для создания осевых вибраций ротора имеются специальный привод 10 и кривошипно-шатунный механизм (вибратор) 9. Над ситовым барабаном на кожухе блока 13 установлен дозатор 1 с клапаном 2 для подачи исходных семян внутрь машины. До попадания очищаемых семян на внутреннюю поверхность ситового барабана они подвергаются продувке потоком воздуха в веялке 3 для отделения легких фракций в отстойник 14, а пылевые фракции уносятся воздушным потоком в систему очистки воздуха.

На ярусах ситового барабана последовательно проходятся отделяются на верхнем ярусе мелкие примеси, на среднем ярусе дробленые мелкие семена и на нижнем ярусе очищенные семена; сходовая фракция с нижнего яруса — крупные примеси. Отверстия сит от забившихся в них частиц очищаются щеточными очистителями 12. Для управления работой сепаратора имеется пульт.

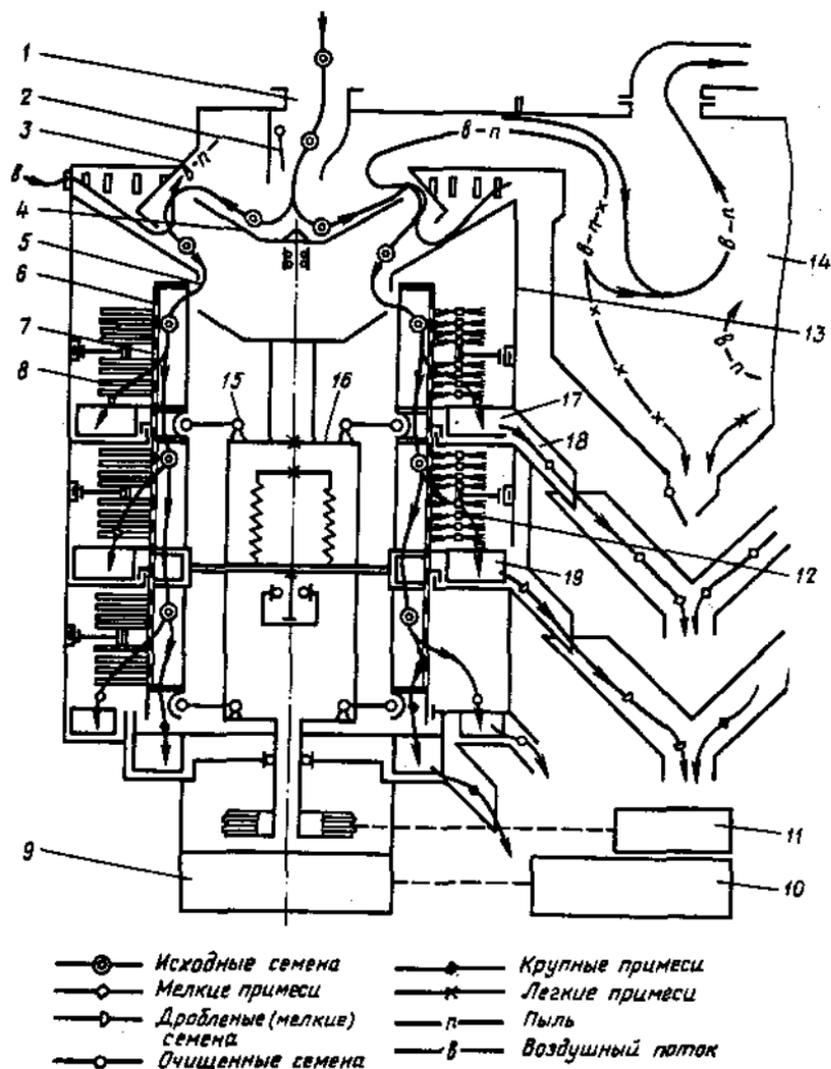


Рис. 2.20. Воздушно-ситовый блок виброцентробежного сепаратора

Изучение относительного движения материальной частицы по внутренней поверхности вертикального цилиндра (рис. 2.21), вращающегося по закону

$$\varphi = \Omega t + \psi \sin \omega t \quad (2.61)$$

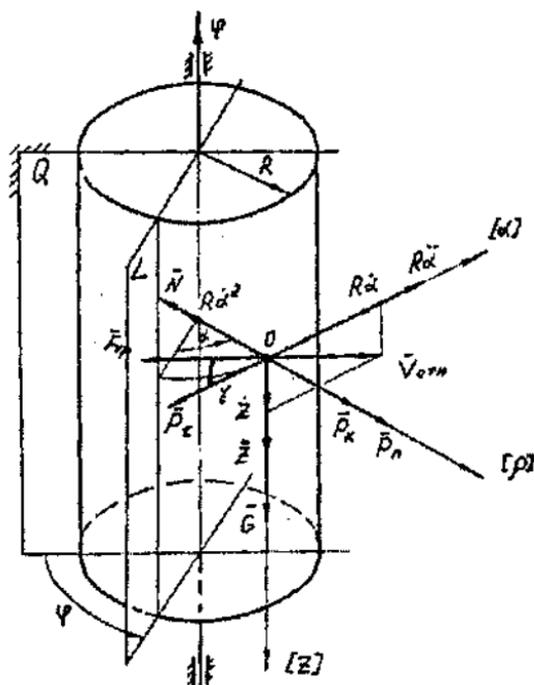


Рис. 2.21. Схема сил, действующих на материальную частицу

(где Ω — постоянный компонент угловой скорости цилиндра; ψ — угловая амплитуда колебаний; ω — частота колебаний), сводится к решению двух задач:

- составление в цилиндрических координатах уравнений вибрационного перемещения материальной частицы по поверхности цилиндра;
- аналитическое решение этой системы дифференциальных уравнений для определения средней («медленной») скорости материальной частицы при установившемся периодическом режиме без интервалов относительного покоя.

Дифференцируя (2.61) по времени, определяем угловую скорость и ускорение цилиндра

$$\dot{\varphi} = \Omega + \dot{\psi} \cos \omega t \quad (2.62)$$

$$\ddot{\varphi} = -\dot{\psi} \omega \sin \omega t \quad \dot{\varphi} = \Omega + \dot{\psi} \cos \omega t \quad (2.63)$$

За переносную примем цилиндрическую систему координат $[\alpha, \rho, z]$, вращающуюся вместе с цилиндром. Ось ρ направлена по радиусу от оси

вращения, ось z вертикально вниз по оси вращения цилиндра, а угол α измеряется от вращающейся вместе с цилиндром плоскости L . В рассматриваемое мгновение через материальную точку проведены координатные линии $[\alpha]$, $[\rho]$ и $[z]$.

На материальную частицу действуют: центробежная сила инерции $P_n = mR\dot{\alpha}^2$, сила тяжести $G = mg$, нормальная реакция цилиндра N , переносная $P_\tau = mR\dot{\varphi}$ и кориолисова $P_k = 2mR\dot{\alpha}\dot{\varphi}$ силы инерции.

Сила трения $F_{\text{тр}} = fN$ направлена противоположно вектору относительной скорости $V_{\text{отн}} = \sqrt{(R\dot{\alpha})^2 + \dot{z}^2}$ и образует с координатной линией $[z]$ угол γ , причем

$$\sin \gamma = \frac{\dot{z}}{\sqrt{(R\dot{\alpha})^2 + \dot{z}^2}}; \quad \cos \gamma = \frac{R\dot{\alpha}}{\sqrt{(R\dot{\alpha})^2 + \dot{z}^2}}.$$

Дифференциальные уравнения относительного движения в проекциях на координатные линии $[\rho]$, $[z]$, $[\alpha]$ имеют вид

$$-mR\ddot{\alpha} = P_n + P_k - N; \quad m\ddot{z} = mg - F_{\text{тр}} \sin \gamma; \quad mR\ddot{\alpha} = -P_\tau - F_{\text{тр}} \cos \gamma \quad (2.64)$$

$$\text{или } -mR\ddot{\alpha} = mR\dot{\varphi} + 2mR\dot{\alpha}\dot{\varphi} - N; \quad m\ddot{z} = mg - fN \frac{\dot{z}}{\sqrt{(R\dot{\alpha})^2 + \dot{z}^2}};$$

$$mR\ddot{\alpha} = -mR\dot{\varphi} - fN \frac{R\dot{\alpha}}{\sqrt{(R\dot{\alpha})^2 + \dot{z}^2}}, \quad (2.65)$$

где R — радиус цилиндра; f — коэффициент сухого трения, характеризующий сопротивление движению частицы по поверхности цилиндра; \dot{z} , $R\dot{\alpha}$ — проекции относительной скорости на координатные линии $[z]$ и $[\alpha]$; \ddot{z} , $-R\ddot{\alpha}$, $R\ddot{\alpha}$ — проекции относительного ускорения на линии $[\rho]$, $[z]$, $[\alpha]$; g — ускорение свободного падения.

При безотрывном двоении частицы $N > 0$, что позволяет определить из первого уравнения системы (2.65) нормальную реакцию N

$$N = mR\dot{\varphi} + 2mR\dot{\alpha}\dot{\varphi} + mR\ddot{\alpha}, \quad \text{или } N = mR\left(\dot{\varphi} + \dot{\alpha}\right)^2. \quad (2.66)$$

Подставляя это выражение в систему (2.65), после сокращения на m получаем

$$\ddot{z} = g - fR \left(\dot{\varphi} + \dot{\alpha} \right)^2 \frac{z}{\sqrt{\left(R\dot{\alpha} \right)^2 + z^2}}; \quad R\ddot{\alpha} = -R\ddot{\varphi} - fR \left(\dot{\varphi} + \dot{\alpha} \right)^2 \frac{R\dot{\alpha}}{\sqrt{\left(R\dot{\alpha} \right)^2 + z^2}}, \quad (2.67)$$

затем, сокращая на R и с учетом (2.62) и (2.63), имеем

$$\ddot{z} = g - fR \left(\Omega + \psi\omega \cos\omega t + \dot{\alpha} \right)^2 \frac{z}{\sqrt{\left(R\dot{\alpha} \right)^2 + z^2}}; \quad (2.68)$$

$$\ddot{\alpha} = \psi\omega^2 \sin\omega t - fR \left(\Omega + \psi\omega \cos\omega t + \dot{\alpha} \right)^2 \frac{R\dot{\alpha}}{\sqrt{\left(R\dot{\alpha} \right)^2 + z^2}}.$$

Система (2.68) может быть решена численно на ЭВМ. Для этого необходимо предварительно привести ее к виду

$$\begin{aligned} \frac{dz}{dt} = y_1; \quad \frac{d\alpha}{dt} = y_2; \quad \frac{d\varphi}{dt} = y_3; \quad \frac{dy_1}{dt} = g - fR(y_3 + y_2)^2 \frac{y_1}{\sqrt{(Ry_2)^2 + y_1^2}}; \\ \frac{dy_2}{dt} = -\frac{dy_3}{dt} - fR(y_3 + y_2)^2 \frac{y_2}{\sqrt{(Ry_2)^2 + y_1^2}}; \quad \frac{dy_3}{dt} = -\psi\omega^2 \sin\omega t. \end{aligned} \quad (2.69)$$

Введем безразмерные переменные $\alpha' = \alpha/\omega$; $\tau = \omega t$ и, обозначая $z' = z/\omega$, выделим в качестве малого параметра величину $\epsilon = f\Omega^2/\omega^2$, т.к. угловая скорость цилиндра Ω существенно меньше, чем частота наложенных колебаний ω . Производя замену $\alpha = \psi(u - \sin\tau)$; $\alpha' = \psi(u' - \cos\tau)$; $\alpha'' = \psi(u'' + \sin\tau)$, получаем из системы (2.68)

$$\begin{aligned} z'' = \epsilon \left(\frac{g}{f\Omega^2} - R \left(1 + \frac{\psi\omega}{\Omega} u' \right)^2 \right) \frac{z'}{\sqrt{(R\psi(u' - \cos\tau))^2 + z'^2}}; \\ u'' = -\epsilon \left(1 + \frac{\psi\omega}{\Omega} u' \right)^2 \frac{R\psi(u' - \cos\tau)}{\sqrt{(R\psi(u' - \cos\tau))^2 + z'^2}}. \end{aligned} \quad (2.70)$$

Решение системы (2.70) возможно получить приближенно в виде рядов по малому параметру ϵ , тогда формула для определения средней скорости материальной частицы вдоль образующей цилиндра имеет вид

$$V_{-p} = \frac{gR\psi\omega}{\sqrt{2(r^2R^2\Omega^4 - g^2)}} \quad (2.71)$$

Хорошая сходимость экспериментальных и расчетных данных позволяет использовать полученные результаты при расчете параметров процесса виброцентробежного сепарирования.

Камнеотборник РЗ-БКТ-100. Камнеотборник предназначен для отделения из семенной массы минеральных примесей (камешки, галька, стекло, металлические частицы), которые равновелики по размерам семенам.

Принцип разделения подобной смеси частиц основан на разности их плотностей. На наклонной вибрирующей поверхности (деке) слой сепарируемой смеси подвергается механическому и аэродинамическому псевдооживлению, при этом более плотные частицы опускаются в нижние слои к наклонной поверхности. Дальнейшее разделение в непрерывном потоке сепарируемой смеси происходит за счет обеспечения повышенного коэффициента трения частиц о наклонную поверхность, выполненную из металлической плетеной сетки. Это (вместе с приданием наклонной деке направленных колебаний с оптимальной частотой и амплитудой) обеспечивает транспортирование тяжелых частиц в сторону поднятой стороны деки. Остальная масса относительно легких частиц, находящаяся в оживленном состоянии, движется в сторону опущенной стороны деки. Схема камнеотборника РЗ-БКТ-100 показана на рис. 2.22.

Основной рабочий орган машины — дека 14, на раме которой сверху укреплена плетеная металлическая сетка. Рама выполнена в виде решетки с размером ячейки 55 × 55 мм из продольных и поперечных вертикальных пластин из алюминиевого сплава. Снизу рамы прикреплено сито со штампованными отверстиями диаметром 3,2 мм. Назначение этого сита — обеспечить равномерное распределение потока воздуха под плетеной сеткой при аспиратории машины в рабочем состоянии через аспирационный патрубок 10.

Дека закреплена на вибростоле 5, который установлен на двух стойках опор 1 и одной трубе-стойке 18. На стойках опор 1 размещены пружинные опоры 2, расположенные под углом друг к другу. Труба-стойка 18 снабжена шарнирными устройствами (сайлен-блоками) 16 и 20, амортизаторами и механизмом регулирования (рым-болт 17) ее высоты с помощью рукоятки 19. Сайлен-блок состоит из двух концентрично установленных коротких стальных трубок с запрессованной между ними резиновой втулкой. Такая конструкция позволяет соединить подвижную и неподвижную части машины. Снизу труба-стойка 18 через сайлен-блок крепится к кронштейну 21. С помощью балки соединительной 23 и опо-

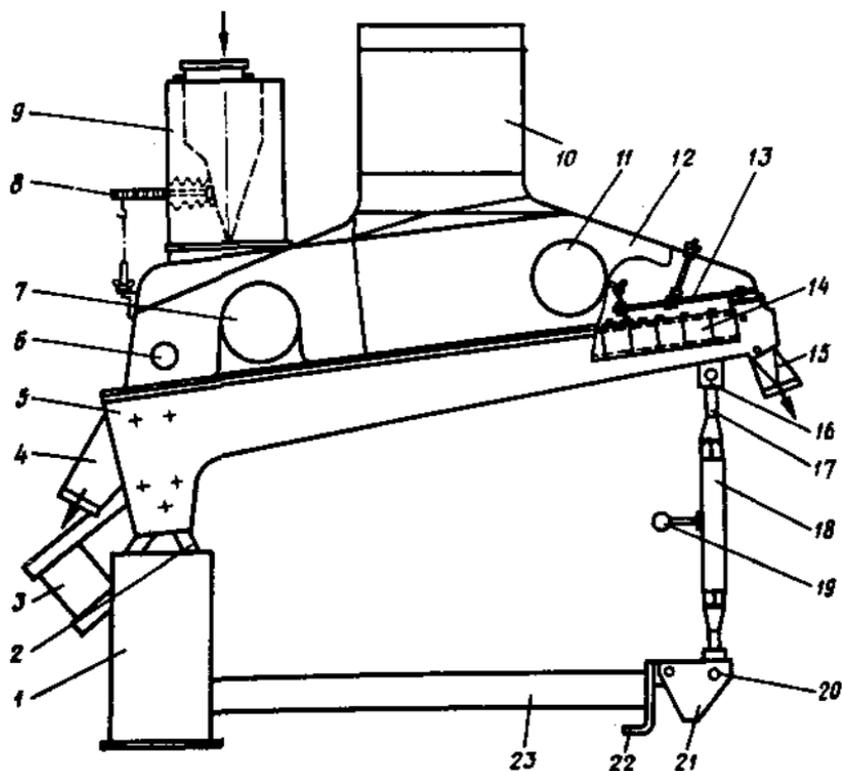


Рис. 2.22. Схема камнеотборника РЗ-БКТ-100

ры 22 замыкается вся совокупность опорных деталей машины. Вибратор 3 обеспечивает колебательное движение вибростола.

Подача исходной сепарируемой смеси происходит через приемник 9, в котором размещен регулятор положения клапана приемника 8. При этом решается задача равномерного распределения семян на рабочем органе и одновременно исключается подсос воздуха через приемный патрубков. Выделенные минеральные примеси выводятся через лоток 15 со стороны приподнятого конца деки, а очищенные семена выходят через лоток 4 с другого конца деки.

Машины для очистки хлопковых семян

Хлопковые семена, в отличие от всех других масличных семян, из-за опушенности агрегируются в комья и имеют пониженную сыпучесть, что требует специальных машин для их переработки. Семенная масса хлоп-

ковых семян, поступающих на маслозаводы, содержит сорные примеси: органические (части стеблей и недоразвитые шуплые семена) и минеральные (землю, гальку, песок). Для отделения примесей используют различия в размерах и скорости витания.

Современная технологическая схема очистки хлопковых семян включает две ступени: грубая очистка на сотах (чаще проводится на машине МХС); окончательная очистка (обычно проводится на аспирационных сепараторах).

Ситовый сепаратор МХС. Сепаратор МХС, предназначенный для грубой очистки хлопковых семян, является ситовым, т.е. в нем семена и примеси разделяются по размеру.

Сепаратор МХС (рис. 2.23) состоит из следующих основных частей: станина 8, сваренная из швеллеров; две ситовые рамы 6 и 7, расположенные одна над другой, подвешенные к станине на четырех жестких подвесках 5 каждая (в зерновых сепараторах подвески пружинные) и имеющие в местах сочленения подвижную пару (ось-подшипник). Такие относительно короткие жесткие подвески при повышенной амплитуде качания сит 18 мм (ход ситовых рам — 36 мм) обеспечивают вертикальную составляющую движения ситовых рам, что приводит к встряхиванию семенной массы на сите и улучшению выделения мелких примесей. Верхнее сито имеет круглые отверстия диаметром 18 мм, под ним нет поддона. Нижнее сито с поддоном имеет круглые отверстия диаметром 4 мм. Таким образом, сходом с верхнего сита идут крупные примеси, проходом через нижнее сито — мелкие примеси. Очищенные семена идут сходом с нижнего сита.

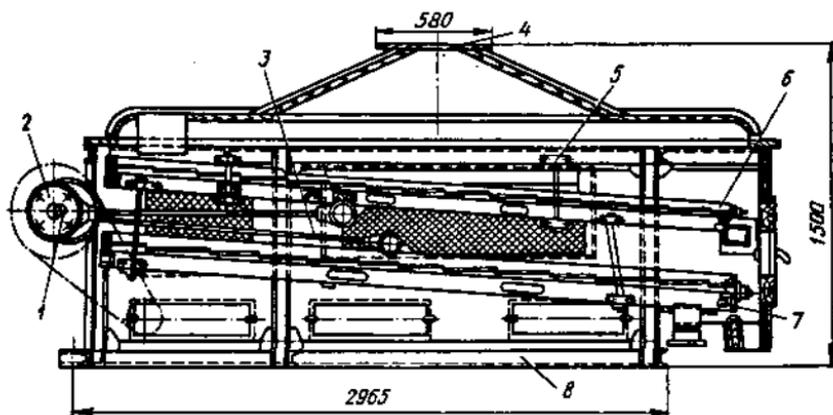


Рис. 2.23. Общий вид очистителя МХС

Сита имеют общую площадь $7,12 \text{ м}^2$, уклон $1/15$ и приводятся в возвратно-поступательное движение четырьмя эксцентриками (по два на каждое сито), расположенными на общем главном валу. На эксцентриках сидят подшипники, бугеля которых тягами соединяются с ситовыми рамами. Пары эксцентриков каждой ситовой рамы между собой смещены на 180° , и это частично гасит инерционные силы, возникающие при перемене направления движения.

Вся машина помещена в деревянный кожух, который аспирируется отсасыванием $750 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха, и это позволяет поддерживать требуемое санитарное состояние в месте установки машины.

Перед пуском сепаратора МХС проводят осмотр всех узлов и, в частности, проверяют состояние сит, натяжение тяг, подшипниковых узлов и привода. Предварительно сепаратор пускают на холостом ходу в следующей последовательности — сначала включают аспирацию, а затем колебатель сит. Если сепаратор работает нормально, то подают семена.

Обслуживание сепаратора заключается в систематической (1—2 раза в смену) смазке подшипников и очистке сит.

Остановку сепаратора осуществляют в следующей последовательности: прекращают подачу семян и после некоторого промежутка времени, в течение которого дорабатываются оставшиеся семена, выключают электродвигатель и аспирацию.

Техническая характеристика сепаратора МХС

Производительность по семенам, т/сут	120
Частота вращения эксцентрикового вала, об/мин	300
Мощность электродвигателя, кВт	2,8
Масса, кг	1310

Аспирационный семяочиститель УСМ. Семяочиститель предназначен для окончательной очистки хлопковых семян. При этом реализуется принцип пневмосепарирования в вертикальном канале.

Семяочиститель УСМ (рис. 2.24) состоит из питателя 1, рабочей трубы 3, осадительной камеры 4, инерционного осадителя 6, вентилятора центробежного 11, заслонки 10, регулирующей расход воздуха, циклона 8.

Семяочиститель работает следующим образом. Семена питателем подаются в рабочую трубу, где подхватываются вертикальным воздушным потоком. При этом тяжелые примеси (минеральный сор и металлопримеси) выпадают вниз. Семенная масса транспортируется в осадительную камеру, откуда чистые полноценные хлопковые семена выпадают в конус и выводятся из установки. Щуплые семена и легкие примеси транс-

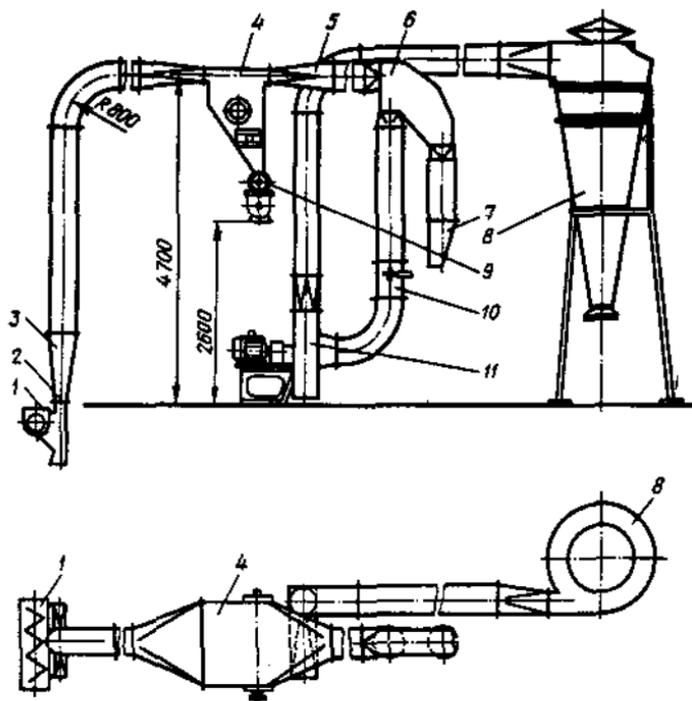


Рис. 2.24. Схема семяочистителя марки УСМ

портируются далее, при этом шуплые семена отделяются в инерционном осадителе, а легкие примеси вентилятором подаются в циклон.

Основными элементами конструкции камеры 4 (см. рис. 2.25) являются направляющий козырек 2 на передней стенке и заслонка 3, связанные шарнирно. Для поворота заслонки на внешнюю стенку осадительной камеры выведена ось, к которой крепится сектор с бобышкой 5. На задней стенке осадительной камеры крепится порог-отбойник 7. На боковых стенках корпуса камеры предусмотрены смотровые окна 1 для наблюдения за процессом сепарации при регулировании положения заслонки. Верхний фланец 4 осадительной камеры служит для подсоединения воздухопровода, а нижний 6 — для подсоединения к вакуум-клапану, через который отводятся очищенные семена. Для управления вакуум-клапаном предусмотрен электродвигатель с редуктором.

В качестве питателя может применяться сотрясательное сито, где частично отделяется мелкий сор, а семенная масса равномерным слоем подается по всей ширине аспирационного канала. На передней стенке ас-

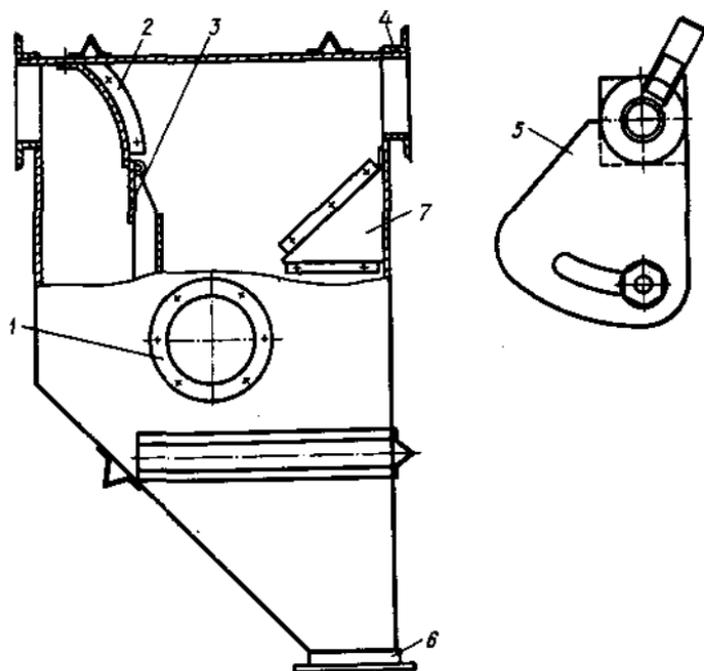


Рис. 2.25. Осадительная камера

пирационного канала расположена регулировочная планка (шибер), предназначенная для дополнительного регулирования воздушного потока. Подача семян в питатель идет через приемный бункер с распределительным валиком для семян. Отвод выпавших из воздушного потока тяжелых примесей предусмотрен с помощью шнека.

Технические характеристики

Питатель	Размеры сотрясающего сита (длина × ширина), мм	1800 × 960	
	Диаметр отверстий сита, мм	1,0–1,5	
	Частота сита, колебаний в мин	300	
	Амплитуда колебаний, мм	18	
	Угол наклона сита, град	8	
	Мощность привода, кВт	1,44	
Аспирационный семяочиститель УСМ	Производительность по семенам, т/сут	240	
	Эффект очистки, %	по тяжелым примесям	100
		по мелкому неорганическому сору (песку)	90–92
	Общая установленная мощность электродвигателей, кВт	15,3	

При надлежащей эксплуатации семяочиститель УСМ надежно работает с высоким эффектом очистки. Перед пуском производят осмотр основных узлов (питателя, осадительной камеры, вакуум-клапана выгрузки семян, инерционного сепаратора, дроссельной заслонки, вентилятора, циклона) семяочистителя.

При пуске включают вентилятор и с помощью дроссельной заслонки регулируют скорость воздушного потока в аспирационном тракте. Затем включают в работу питатель и подают семена. Эффективность сепарации в осадительной камере регулируют поворотом заслонки. Для очистки внутренних частей осадительной камеры и инерционного сепаратора от волокнистой массы установку периодически останавливают.

Контрольные вопросы

1. Что дает эффективная очистка масличных семян?
2. Какие признаки делимости примесей от семян используются в сепараторах?
3. Какая схема и какие сита применяются в сепараторах для очистки семян подсолнечника и хлопчатника?
4. Как устроена аспирационная система сепаратора ЗСМ?
5. Каковы основные неполадки в работе сепаратора ЗСМ и меры по их устранению?
6. Как устроен и работает инерционный очиститель сит?
7. Как устроены и работают эксцентриковый и самобалансный колебатели сит?
8. Как обеспечивается встряхивающее движение сит в сепараторе МХС?
9. Как устроен и работает аспирационный семяочиститель УСМ?
10. Какие основные правила эксплуатации и техники безопасности при работе на сепараторе?

Задания

Произвести энергетический расчет ситовой части сепаратора типа ЗСМ. Исходные данные для расчета взять по таблице (10 вариантов).

Показатель	Ед. изм.	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Производительность	т/ч	3	5	4	4	3	5	5	4	3	4
Амплитуда колебаний сита	мм	6	5	7	5	7	6	7	6	5	5
Длина сита	м	2,2	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	1,8	1,8	1,8	1,8
Ширина сита	м	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,8
Угол наклона сита	град	12	10	11	11	12	10	10	11	12	10

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СЕМЯН К ПОЛУЧЕНИЮ МАСЛА

Основной задачей подготовительного участка является получение масличного материала (измельченное ядро с низким содержанием оболочек, так называемая «мятка») для последующего извлечения масла прессованием и экстракцией.

Для этого необходимо провести следующие технологические операции: обрушивание семян; разделение рушанки; измельчение ядра.

Подаваемые из хранилища семена (см. рис. II.1) попадают в запасной бункер 1 вместимостью, обеспечивающей непрерывную 16-часовую работу основного производства, если по каким-либо причинам прервется подача семян из хранилища. Из этого бункера семена поступают на автоматические порционные весы 2, с помощью которых осуществляют учет количества семян, поступивших на переработку. Затем семена попадают в промежуточный бункер 3 и из него транспортерами подаются на производственную очистку 4, цель которой — окончательная очистка семян. Вначале семена очищают от ферропримесей при помощи магнитных устройств, затем очистка идет на сепараторах такого же типа, что и в сырьевых участках. Отобранный из семян сор с помощью транспортеров отводится от сепараторов, а запыленный воздух вентиляторами подается в воздухоочистительные устройства.

Очищенные семена еще раз проходят магнитные устройства для отделения ферропримесей и поступают в распределительный шнек над рушками 5, которые предназначены для разрушения оболочки семян (лузги) с тем, чтобы в дальнейшем ее отделить от ядра, содержащего основное количество масла. В настоящее время на заводах отрасли применяются, в основном, бичевые рушки, работающие на принципе удара.

В состав рушанки, выходящей из бичевых рушек, входят: лузга (целая и дробленая), ядро (целое и дробленое) и некоторое количество необрушенных семян, называемых целяком, или недорущем.

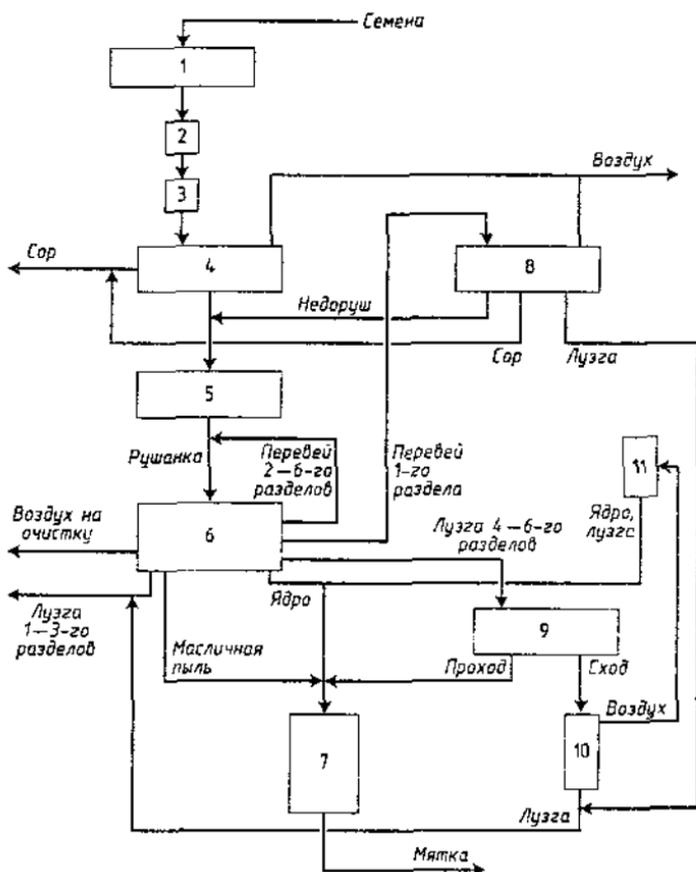


Рис. II.1. Аппаратурная схема участка подготовки семян подсолнечника к извлечению масла:

1 — запасной бункер; 2 — автомасы; 3 — промежуточный бункер; 4 — сепаратор для очистки семян; 5 — рушанка; 6 — аспирационная вейка; 7 — вальцы; 8 — сепаратор для контроля недоруша; 9 — контрольный рассев для контроля лузги; 10 — аспирационная колонка; 11 — воздушный фильтр

Рушанка обычно направляется самотеком в нижерасположенную семеновейку (аспираторную вейку) 6 для разделения. Аспираторная вейка состоит из рассева и аспираторного корпуса. Рассев представляет собой ситовую систему, назначение которой — разделить рушанку по размеру частиц на узкие фракции (в аспираторной вейке рассев делит рушанку на семь фракций). Это позволяет осуществить лучшее ее разде-

ление в аспирационном корпусе на ядро, лузгу и недоруш под воздействием воздушного потока.

Ядро с небольшой примесью лузги направляется для дальнейшей переработки на вальцовые станки 7.

Крупная лузга без масличных примесей (лузга из 1—3-го разделов) отводится как отход производства.

Мелкая фракция лузги с некоторым количеством масличных примесей (лузга из 4—6-го разделов) попадает на контрольный рассев 9 для отделения масличных примесей, которые направляются в поток ядра на вальцы.

ГЛАВА 3.

МАШИНЫ ДЛЯ ОБРУШИВАНИЯ МАСЛИЧНЫХ СЕМЯН

Операция обрушивания предназначена для разрушения оболочки с целью последующего ее отделения от ядрового продукта, т.к. она содержит вещества (воски и др.), переход которых в масло нежелателен. Шрот с высоким содержанием лузги также имеет низкое качество. Удаление лузги способствует повышению производительности и снижению износа машин.

В зависимости от физико-механических свойств и состава морфологических частей семени выбирается метод обрушивания: разрушение ударом (удар — действие очень большой силы за очень короткий промежуток времени); скалывание и разрезание; разрушение трением.

Исследуются новые способы обрушивания: «взрыв», аэрошелушение, электрогидравлический эффект.

Свойства масличных семян как объекта обрушивания

Разрушающие усилия зависят от свойств семян, характера приложения нагрузок и направления приложения сил.

Прочность семян — величина нагрузки, при которой происходит разрушение оболочки. Различают два этапа разрушения лузги: 1) до первого надкола; 2) до полного разрушения.

Деформация общая $f_{\text{общ}}$ складывается из упругой $f_{\text{упр}}$ и пластической $f_{\text{пл}}$

$$f_{\text{общ}} = f_{\text{упр}} + f_{\text{пл}} \quad (3.1)$$

Упругая деформация исчезает после снятия нагрузки (по скорости исчезновения различают мгновенную и эластическую (замедленную) деформацию). Пластическая (остаточная) деформация после снятия нагрузки не восстанавливается.

Соотношение упругих и пластических свойств определяет упругое или пластичное состояние тела. Количественно оцениваются: упругость —

$Y = f_{\text{упр}}/f_{\text{пл}}$ и пластичность — $\Pi = f_{\text{пл}}/f_{\text{упр}}$. Для семян подсолнечника при $W = 7,7\%$ — $Y = 1,45$ и $\Pi = 0,69$ и при $W = 10,7\%$ — $Y = 0,8$ и $\Pi = 1,2$.

Степень отличия свойств данного тела от вполне упругого характеризуется величиной коэффициента восстановления — отношение скорости взаимного удаления центров тяжести после удара к скорости их сближения до удара.

$$K_{\text{в}} = \sqrt{\frac{h}{H}} \quad (3.2)$$

($K_{\text{в}} = 0,39-0,43$ — для семян и ядер по стали; $K_{\text{в}} = 0,33$ — для лузги).

Если разрушение происходит без заметных пластических деформаций, то это хрупкое разрушение.

Нагрузка может быть статической и динамической.

При динамической нагрузке (она быстро нарастает) отмечаются значительные силы инерции движущихся масс и повышается сопротивление материала пластической деформации за пределом упругости.

Упругопластические свойства семян и оболочек зависят от их строения, размеров и влажности. Оболочка и ядро отличаются по упругопластическим свойствам. При наличии достаточного зазора между оболочкой и ядром все определяется свойствами оболочки. В зависимости от направления приложения силы усилия разрушения семени колеблются от 39,2 до 48,0 Н. Для старых сортов такого влияния направления не было.

Внешние силы могут действовать на семя в различном направлении. Для семян подсолнечника при нагружении вдоль длинной оси (по длине) статическое усилие разрушения наибольшее, но в этом случае воздушный зазор достаточен, и работа при динамическом нагружении наименьшая — 116 Дж/кг. Соответственно, для направления по ширине — 217 Дж/кг и по толщине — 340 Дж/кг (хуже всего). То есть, лучше всего — ориентированный удар вдоль длинной оси.

Для неориентированного удара экспериментально установлена зависимость удельной работы разрушения (работа на 1 кг семян, Дж/кг) от влажности:

— для семян подсолнечника в диапазоне $W \leq 14\%$

$$A_{\text{с}} = 185 + 20W^{0,705} \quad (3.3)$$

— для ядра

$$A_{\text{я}} = (1,05...1,07) A_{\text{с}} \quad (3.4)$$

Близость работ разрушения семян и ядра — причина образования сечки и масляной пыли при обрушивании. Целесообразно применять специальные способы подготовки семян перед обрушиванием, которые бы делали лузгу хрупкой, а ядро — пластичным (например, увлажнение и последующая подсушка).

Семена подсолнечника в отношении характера их разрушения неоднородны (можно разделить на три типа):

- лузга ломается на 2—3 крупные части и легко отделяется от ядра;
- лузга ломается на 6—8 частей (лузга остается и в ядре);
- лузга ломается на много частей (много лузги в ядре), ядро также ломается.

Последний тип характерен для высокомаслических семян. Отмечается прямая корреляция между типами семян и их крупностью (чем крупнее семена, тем легче они обрушиваются), т.е. целесообразно фракционирование семян перед обрушиванием по размерам (лучше делить по толщине, но возможно и по ширине). Переработка трудно обрушиваемых современных сортов семян подсолнечника приводит к ухудшению показателей рушальновеесных отделений маслозаводов (повышенная лузжистость ядра и замасливаемость лузги).

Применяемые для обрушивания машины базируются на нескольких методах обрушивания. Так, для семян подсолнечника и некоторых других маслических семян применяют многократные и однократные удары (бичевые и центробежные обрушивающие машины), а для семян хлопчатника — разрезание и скалывание (дисковые шелушители).

Бичевая семенорушка

Бичевая семенорушка реализует метод многократного удара, имеющий место при последовательном попадании семян на бичи и деку.

При рассмотрении удара двух тел, отличающихся массой m_1 и m_2 и скоростями v_1 и v_2 (причем $v_2 > v_1$), после удара устанавливаются скорости:

$$v'_1 = u + K_s m_2 (v_2 - v_1) / (m_1 + m_2) \quad (3.5)$$

$$v'_2 = u + K_s m_1 (v_2 - v_1) / (m_1 + m_2) \quad (3.6)$$

$$u = (m_1 v_1 + m_2 v_2) / (m_1 + m_2). \quad (3.7)$$

Для случая удара по отдельной семянке ($m_1 = 0$ и $v_1 = 0$) уравнения упрощаются.

Для абсолютно неупругого удара

$$K_s = 0; \quad v'_1 = u \text{ и } v'_2 = u. \quad (3.8)$$

Соответственно, для абсолютно упругого удара

$$K_s = 1; \quad v'_2 = u = v_2 \text{ и } v'_1 = 2v_2. \quad (3.9)$$

В общем случае

$$v'_1 = (1 + K_s)v_2. \quad (3.10)$$

Для семян подсолнечника

$$K_s = 0,42 \text{ и } v'_1 = 1,42v_2, \quad (3.11)$$

т.е. после удара скорость увеличивается.

При многократном ударе скорость будет возрастать после каждого последовательного удара и превысит скорость, требуемую для разрушения луги с разрушением ядра и получением сечки.

В бичевой семенорушке происходит неориентированный удар, т.к. семена подаются на бичи неориентированными, дека выполнена волнистой и угол встречи семян с ней имеет случайный характер.

Бичевая семенорушка МРН (Кудрявцева-Васильева) состоит из четырех основных узлов: питающего устройства, бичевого барабана, леки и корпуса (рис. 3.1).

В состав питающего устройства входят питающий бункер 4, рифленый валик 3 и регулируемая заслонка 2.

Назначение питающего устройства — обеспечить равномерное распределение семян по ширине рабочей зоны машины (она равна длине бича и составляет в бичевой рушке 972 мм) и подачу семян со стабильной и требуемой интенсивностью. Ширина питающей течки (650 мм) от транспортера семян к рушке меньше ширины рабочей зоны и распределение семян происходит за счет работы рифленого питающего валика. В бичевой рушке питающий валик цилиндрической формы диаметром 110 мм с выфрезерованными рифлями на поверхности. При принятой частоте его вращения 98—110 об/мин слой семян над валиком под действием толчков со стороны рифлей переходит в виброоживленное состояние и «растекается» по всей ширине валика. Интенсивность подачи семян в рабочую зону рушки регулируется положением заслонки относительно поверхности валика (ширина щели) с помощью рукоятки, выведенной на торце питающего бункера и снабженной барашком для фиксации ее положения.

Конструкция бичевого барабана представляет собой вал с укрепленными на нем тремя дисками 10 со ступицами и 16 стойками бичей 5. Жесткость дисков обеспечивается приваренными с обеих сторон ребрами 7. На наружной кромке каждого диска приварено 16 пар уголков 6 под углом 55° к осевой линии. К этим уголкам на болтах прикреплены 16 бичей 8. Бичи изготовлены из полосовой стали толщиной 10—12 мм и шириной 100 мм. Бичевой барабан установлен в машине горизонтально в подшипниках и при работе приводится во вращение с частотой 550—630 об/мин, что при диаметре барабана по наружной кромке бичей 800 мм соответствует окружной скорости 23—27 м/с.

Расчет необходимой для обрушивания окружной скорости проводится на основании данных по удельной работе разрушения A_c (приравнивая ее запасу кинетической энергии)

$$A_c = mv^2/2 \text{ (для 1 кг } A_c = v^2/2 \text{ и } v = \sqrt{2A_c} = 1,41 \sqrt{A_c}). \quad (3.12)$$

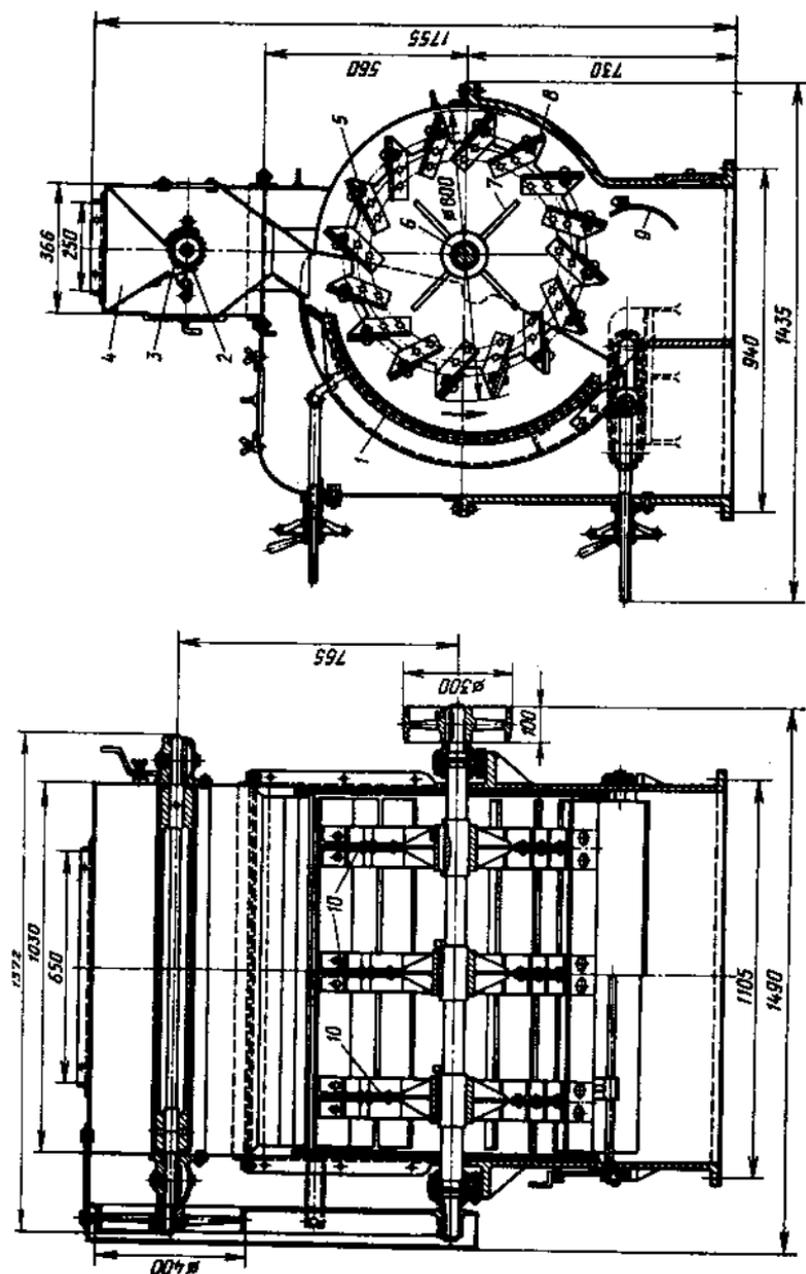


Рис. 3.1. Семенорушка типа МРН

Бичевой барабан снаружи сбоку на дуге 110° окружен волнистой поверхностью, называемой декой. Деку 1 набирают из чугунных колосников, отливаемых отдельными секциями, содержащими четыре-пять рифлей диаметром 25 мм. Положение деки относительно бичевого барабана (зазор между бичами и декой) влияет на силу удара семян о деку, и в машине предусмотрена регулировка зазора в пределах 8—80 мм в зависимости от влажности и размера семян. Регулировка осуществляется оператором с помощью специальных регулировочных механизмов (верхнего и нижнего).

Верхний регулировочный механизм (рис. 3.2) представляет собой винт 4, шарнирно связанный с декой через кронштейн 5 и тем самым закрепленный в отношении вращательного движения. Вращательное движение при вращении маховичка 6 совершает гайка 3, вставленная своим буртиком в кольцевую выточку полукольца 2 (зафиксированного в кронштейне 1 болтами), прикрепленного к стенке бичерушки. Таким образом, гайка будет иметь вращательное движение без осевого перемещения, ввинченный в нее винт, наоборот, будет совершать только осевое перемещение. При этом связанная с винтом шарнирно верхняя часть деки будет придвигаться или отодвигаться от бичевого барабана, в зависимости от направления вращения маховичка и связанной с ним гайки. Конструкция нижнего регулировочного устройства аналогична конструкции верхнего регулировочного устройства в части взаимодействия винта и гайки. Особенностью является фиксация шарнира, соединяющего конец винта и нижнюю часть деки, в горизонтальных направляющих (см. рис. 3.1).

Станина рушки металлическая (нижняя часть из чугуна) и состоит из трех частей, собираемых по разъемам в горизонтальной плоскости на уровне вала бичевого барабана, и в вертикальной плоскости над валом бичевого барабана. В выводной точке станины помещен козырек-отражатель, регулируемый ручкой, выведенной на торец бичерушки.

Привод бичевого барабана и связанного с ним ременной передачей питающего валика осуществлен от электродвигателя через ременную передачу. Основное требование к приводу бичерушки — варьирование час-

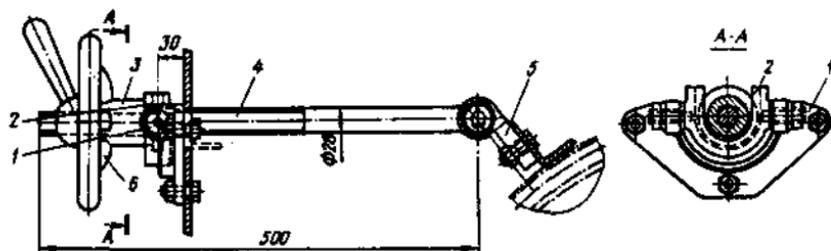


Рис. 3.2. Механизм регулировки верхней части деки

тоты вращения бичевого барабана при необходимости изменения силы удара бичей по обрушиваемым семенам. Причем наиболее эффективным может быть плавное регулирование частоты вращения бичевого барабана, что обеспечивается применением вариатора. В настоящее время регулирование частоты вращения бичевого барабана в семенорушках упрощено применением сменных или ступенчатых шкивов в ременной передаче от электродвигателя к бичевому барабану, и такой привод нельзя признать удовлетворительным.

Бичерушка работает следующим образом. Семена, поступающие в питающий бункер, валиком равномерно распределяются по ширине рабочей зоны. Поток семян, регулируемый заслонкой, попадает на наклонную плоскость в питающем бункере и далее, соскальзывая, попадает на бичи вращающегося барабана.

При достаточной скорости вращения бичевого барабана сила удара бичей по семенам обеспечивает их обрушивание. Так как отдельные семена различаются между собой свойствами, в частности прочностью, то для части семян сила удара недостаточна для обрушивания, а для некоторой части семян сила удара настолько велика, что происходит не только разрушение оболочки, но и разрушение ядра.

После удара бичами образовавшаяся рушанка (смесь ядра, оболочек, целых семян и сечки ядра) отбрасывается на деку многократно из-за проявляемой частицами упругости при ударе. Таким образом, рушанка ударяется о деку, и при этом происходят обрушивание целых семян и разрушение ядра. Частицы рушанки, отскакивая после удара от деки, попадают вновь на бичи вращающегося бичевого барабана. Далее описанная картина повторяется и из-за достаточно протяженной деки происходит многократный удар. В зазоре между бичевым барабаном и декой существует хаотически движущаяся совокупность частиц рушанки. Столкновения между частицами неизбежны и это сопровождается потерей ими кинетической энергии, что мешает обрушиванию.

В конструкции машины заложены и другие элементы, приводящие к неоднородности обрушивания. Так, на бичевом барабане внешняя кромка бичей находится на диаметре 800 мм, а внутренняя — на диаметре 640 мм. Окружная скорость прямо пропорциональна диаметру, и, следовательно, семена, попадающие на бичи в разные точки между диаметрами 800 и 640 мм, подвергаются удару разной силы. Волнистая дека также создает условия для неоднородности обрушивания при ударе семян о нее.

Напряжение при ударе семени о выпуклость деки выше, чем о впадину, т. к. площадь контакта меньше. В результате семя легче обрушится, если оно попадет на выпуклость.

Кроме того, усилия, необходимые для разрушения семени, прикладываемые вдоль различных направлений, неодинаковы, а условий для

ориентированного удара в конструкции машины не создано. Бичевая семенорушка имеет следующие недостатки:

- низкая производительность, что, в частности, связано с неэффективным использованием рабочих органов (в каждый момент времени работает лишь 1 бич из 16);
- рушанка проходит в машине длинный тракт, что ведет не только к дополнительному измельчению ядра, но и к обмасливанию лузги с последующими потерями масла;
- повышенные удельные (на единицу производительности) расходы электроэнергии и металла;
- низкое качество рушанки современных сортов семян подсолнечника на бичевых семенорушках.

Техническая характеристика семенорушки МНР

Производительность по семенам, т/сут	50–60
Содержание в рушанке из семян высоко-масличного подсолнечника, %, не выше	
целяка и недоруша	25
масличной пыли	15
сечки	15
Габаритные размеры, мм	1490 × 1435 × 1755
Мощность, кВт	5,1
Масса, кг	1380

В связи с износом рабочих органов семенорушки (бичей и деки) показатели ее работы ухудшаются и при эксплуатации этого допускать нельзя. Следует не только своевременно производить замену изношенных деталей, но и проводить мероприятия, позволяющие удлинить срок службы изнашиваемых деталей. Так, покрытие бичей твердым сплавом позволяет удлинить срок службы их до 12—15 мес. При износе бичей и при установке новых важной операцией является балансировка бичевого барабана. Нарушение балансировки приводит к вибрациям машины, что выводит из строя подшипниковые узлы, расшатывает станину, разрушает фундаменты. Для бичевого барабана достаточной оказывается статическая балансировка, которую можно проводить непосредственно в самой машине.

Для нормальной работы семенорушки, кроме отбалансированности барабана, надо, чтобы расстояние между кромками бичей и декой было одинаковое по всей длине барабана. Во время работы следует контролировать нормальную работу привода, а также состояние подшипников и наличие в них смазки. Если появляются признаки неисправности (стук,

вибрация и т.п.), то надо прекратить подачу семян и остановить семенорушку для установления причин неисправности и их устранения. При круглосуточной эксплуатации рушку следует останавливать не реже одного раза в месяц для внутреннего осмотра и ремонта. При осмотре проверяют состояние рифленой поверхности деки и бичей (если они изношены, то выполняют описанные выше восстановительные операции).

Вопросы расчета бичевой семенорушки. При обрубивании семян подсолнечника в бичевой семенорушке удельная работа разрушения семенной оболочки (Дж/кг) определяется по уравнению 3.3.

Скорость (м/с), с которой семена должны ударяться о неподвижную деку (или скорость, с которой бичи ударяют по семенам) определяется по уравнению 3.12. С учетом $v = \pi D n / 60$ необходимая частота вращения бичевого барабана семенорушки (мин^{-1})

$$n = (27/D) \sqrt{A_c} = 19,1v/D, \quad (3.13)$$

где D — диаметр бичевого барабана, м.

Зависимость между конструктивными размерами бичевой семенорушки (ограничение, которое надо учитывать) определяется сравнением времени прохождения семенем вертикального отрезка ($b \cos \alpha$), пересекаемого бичем, и временем прохождения бичем отрезка окружности между соседними бичами

$$\frac{b \cos \alpha}{\sqrt{2gH}} \geq \frac{\pi D}{zv}, \quad (3.14)$$

откуда

$$z \geq \frac{2,22D}{b \cos \alpha} \sqrt{\frac{2gH}{A_c}}, \quad (3.15)$$

где z — число бичей на бичевом барабане; b — ширина бича, м; α — угол наклона бича к радиусу; H — высота, с которой семена падают на бич, м; g — ускорение свободного падения ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$).

Производительность бичевой семенорушки (кг/с)

$$Q = l q, \quad (3.16)$$

где l — длина бича, м; q — удельная нагрузка на 1 м длины бича, для семенорушки МРН $q = 0,6 \dots 0,7 \text{ кг/(м}\cdot\text{с)}$.

Затрачиваемая энергия на работу бичевой семенорушки определяется требуемой мощностью (кВт), составляющие которой следующие:

– мощность, необходимая для разрушения семенной оболочки

$$N_1 = Q A_c / 1000; \quad (3.17)$$

— мощность, необходимая на преодоление сопротивления воздуха

$$N_2 = VH/1000\eta_r, \quad (3.18)$$

Она определяется с учетом следующих соотношений

$$V = (\varphi \pi/60)Dln = 0,021Dln, \quad (3.19)$$

т.к. коэффициент неупорядоченности $\varphi = 0,4$,

$$H = (\rho^2\psi/3600)\rho D^2n^2 = 1,78 \cdot 10^{-3}D^2n^2, \quad (3.20)$$

т.к. коэффициент напора $\psi = 0,5$, а также $n = \frac{27}{D}\sqrt{A_c}$ и аэродинамический к.п.д. вентилятора $\eta_r = 0,4$

$$N_2 = 3,07 \cdot 10^{-3} Q a A_c^{1,5}, \quad (3.21)$$

где a — ширина выходной точки бичевой семенорушки, м (для рушки МРН $a = 0,08$ м);

— мощность, необходимая для преодоления трения семян о деку

$$N_3 = 0,2 \cdot 10^{-3} Q A_c \beta f_0, \quad (3.22)$$

где β — угол охвата барабана декой, рад (для МРН $\beta = 1,9$ рад); f_0 — коэффициент внутреннего трения рушанки ($f_0 = 0,9$);

— мощность, необходимая для придания скорости рушанки

$$N_4 = 0,187 \cdot 10^{-2} Q A_c (1 + K_p), \quad (3.23)$$

где K_p — коэффициент восстановления удара (для семян подсолнечника $K_p = 0,39..0,43$).

Общая необходимая мощность для работы бичевой семенорушки

$$\begin{aligned} N &= (N_1 + N_2 + N_3 + N_4)/\eta = \\ &= (Q A_c / 1000 \eta) [1 + 3,07 a A_c^{0,5} + 0,2 \beta f_0 + 1,87 (1 + K_p)], \end{aligned} \quad (3.24)$$

где η — к.п.д. бичевой семенорушки, равный $0,35..0,4$.

Мощность привода бичевой семенорушки (кВт) можно определить приближенно по формуле

$$N = [Q A_c + 0,01 D^2 n^2 (0,01 D n l a + 0,257 Q)] / (1000 \eta), \quad (3.25)$$

где a — расстояние между декой и окружностью, описываемой наружной кромкой бича (у семенорушки МРН $a = 0,08$ м); остальные обозначения даны выше.

Способ центробежного обрушивания

Для реализации способа центробежного обрушивания однократным ориентированным ударом предназначена центробежная семенорушка. Семена в центробежной рушке приобретают необходимую кинетическую энергию для обрушивания одним ориентированным (вдоль оси длины) ударом о деку под действием центробежной силы.

Теория движения семени по ротору центробежной семенорушки. При работе центробежной рушки семена поступают на вращающийся на вертикальном валу диск с лопатками. При этом на семя действуют (см. рис. 3.3) кроме центробежной силы F_1 , также силы тяжести G и Кориолиса P , которые прижимают семя к диску и лопатке и вызывают появление соответствующих сил трения F_2 и F_3 , направленных против движения семени.

Центробежная сила (Н)

$$F_1 = m u^2 / x_1 \quad (3.26)$$

или

$$F_1 = m \omega^2 x_1 \quad (3.27)$$

где m — масса семени, кг; u — переносная скорость, м/с; x_1 — расстояние от оси вращения до точки вращения, м; ω — угловая скорость вращения точки, рад/с.

Кориолисова сила

$$P = 2 m \omega v_1 \quad (3.28)$$

где v_1 — относительная скорость движения семени по ротору, м/с.

Сила тяжести семени

$$G = mg, \quad (3.29)$$

где g — ускорение свободного падения.

Сила трения под действием силы тяжести частицы

$$F_2 = f G. \quad (3.30)$$

Сила трения под действием кориолисовых сил

$$F_3 = f P, \quad (3.31)$$

где f — коэффициент трения семян по материалу ротора.

Приняв траекторию движения за ось ox подвижной системы и проектируя все силы, действующие на точку, с учетом их направления, получим

$$m \ddot{x} = F_1 - F_2 - F_3 \quad (3.32)$$

или

$$m(d^2x/dt^2) = m\omega^2 x - fmg - f2m\omega dx/dt. \quad (3.33)$$

После сокращения на m получаем дифференциальное уравнение второго порядка с правой частью

$$d^2x/dt^2 + f2\omega dx/dt - \omega^2 x = -fg, \quad (3.34)$$

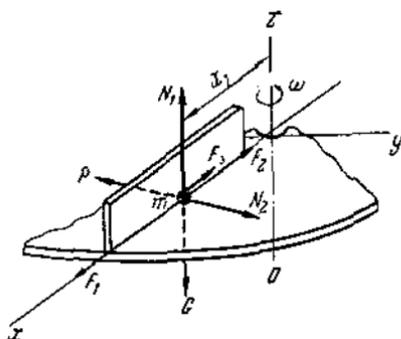


Рис. 3.3. Схема сил, действующих на частицу на центробежном роторе

общий интеграл которого

$$x = x_0 + x_1, \quad (3.35)$$

где x_0 — общее решение линейного однородного дифференциального уравнения второго порядка; x_1 — частное решение.

Общее решение линейного однородного дифференциального уравнения второго порядка

$$x_0 = c_1 \exp(k_1 \tau) + c_2 \exp(k_2 \tau), \quad (3.36)$$

где τ — время движения семян по лопатке; c_1 , k_1 , c_2 и k_2 — постоянные величины.

Частным решением может быть равенство

$$x_1 = A, \quad (3.37)$$

где A — некоторая постоянная величина.

Если подставить x_1 в дифференциальное уравнение (3.34), то получится тождество, из которого определяется величина A

$$-\omega^2 A = -fg, \quad (3.38)$$

откуда

$$A = fg/\omega^2. \quad (3.39)$$

Общий интеграл принимает вид

$$x = c_1 \exp(k_1 \tau) + c_2 \exp(k_2 \tau) + fg/\omega^2. \quad (3.40)$$

При изменении частоты вращения ротора от 500 до 1500 об/мин величина fg/ω^2 изменяется в пределах от 0,0011 до 0,00012 и ею можно пренебречь. Тогда

$$x = c_1 \exp(k_1 \tau) + c_2 \exp(k_2 \tau). \quad (3.41)$$

Для нахождения постоянных k_1 и k_2 решают характеристическое уравнение (получается заменой в дифференциальном уравнении (3.34) без правой части производных на k в соответствующей степени)

$$k^2 + 2f\omega k - \omega^2 = 0, \quad (3.42)$$

в результате

$$k_{1,2} = -f\omega \pm \sqrt{f^2\omega^2 + \omega^2}. \quad (3.43)$$

После преобразований с учетом величины $f = 0,31$ для $w = 8\%$

$$k_1 = -f\omega + \omega \sqrt{1 + f^2} = 0,735\omega \quad (3.44)$$

$$k_2 = -f\omega - \omega \sqrt{1 + f^2} = -1,355\omega. \quad (3.45)$$

Коэффициенты c_1 и c_2 определим из граничных условий.

Первое граничное условие

$$\tau = 0; \quad x = r_1, \quad (3.46)$$

где r_1 — начальный радиус лопатки.

Подставляя это в (3.41), получим

$$r_1 = c_1 + c_2. \quad (3.47)$$

Второе граничное условие

$$\tau = 0; \quad dx/d\tau = v_1, \quad (3.48)$$

где v_1 — начальная скорость семени.

После дифференцирования (3.41) получим

$$dx/d\tau = v = c_1 k_1 \exp(k_1 \tau) + c_2 k_2 \exp(k_2 \tau). \quad (3.49)$$

Подставляя второе граничное условие, получим

$$v_1 = c_1 k_1 + c_2 k_2. \quad (3.50)$$

Решая систему уравнений (3.47) и (3.50) и используя ранее полученные значения k_1 и k_2 получим

$$c_1 = 0,65r_1 + v_1/2,09\omega \quad (3.51)$$

и

$$c_2 = 0,35r_1 - v_1/2,09\omega. \quad (3.52)$$

В общем виде уравнения, характеризующие относительное движение семени по ротору, следующие:

— путь

$$x = c_1 \exp(k_1 \tau) + c_2 \exp(k_2 \tau), \quad (3.53)$$

— скорость

$$v = c_1 k_1 \exp(k_1 \tau) + c_2 k_2 \exp(k_2 \tau), \quad (3.54)$$

— ускорение

$$a = c_1 k_1^2 \exp(k_1 \tau) + c_2 k_2^2 \exp(k_2 \tau). \quad (3.55)$$

Анализ движения семени по диску вдоль лопатки под действием указанных сил показал, что скорость не зависит от массы семени и обусловлена величиной коэффициента трения семени о материал, из которого изготовлены диск и лопатки. Движение семени, вначале ускоренное, довольно быстро стабилизируется. На расстоянии примерно в 3—4 раза превышающем начальный радиус попадания семени на диск устанавливается постоянная скорость радиального движения семян, при характерных коэффициентах трения их о сталь по величине составляющая 0,65—0,7 окружной скорости диска.

Необходимо отметить, что, теоретически получив одинаковую скорость, семена разной массы приобретают пропорционально ей количество движения, и если считать, что прочность прямопропорциональна

массе, то можно ожидать саморегулирующий эффект, увеличивающий качество обрушивания в центробежной рушке. Однако на практике до сих пор это не достигнуто из-за разнокачественности и разновлажности, что существенно изменяет коэффициент трения семян, который, как показано, играет существенную роль при движении семян по ротору центробежной рушки, и из-за разнокачественности семена имеют разную скорость, что ведет к столкновениям, уменьшающим скорость и нарушающим ориентацию семян. В теории недостаточно учтены и аэродинамические эффекты.

Центробежная семенорушка А1-МЦП

В настоящее время разработана и создана центробежная рушка высокой производительности А1-МЦП (рис. 3.4). Принцип работы рушки основан на методе однократного направленного удара семян о деку.

Рушка центробежная А1-МЦП представляет из себя агрегат, состоящий из следующих основных частей: ротора, деки, подшипниковой опоры, станины, кожуха, обечайки.

Сама рушка состоит из корпуса 1, смонтированного на станине 2, распределительного устройства 3, рабочих дисков 4 с радиальными направляющими каналами 5, футерованными вкладышами из износостойкой керамики, кольцевой деки 6. Диски в сборе представляют собой ротор, который крепится на вертикальном валу 13. Вал с ротором вращается в подшипниках 12. Два патрубка корпуса 1 при монтаже соединяются с двумя циклонами 8, имеющими внутри цилиндрическое сито 9, отводящие точки маслянистой пыли 11 и рушанки 16.

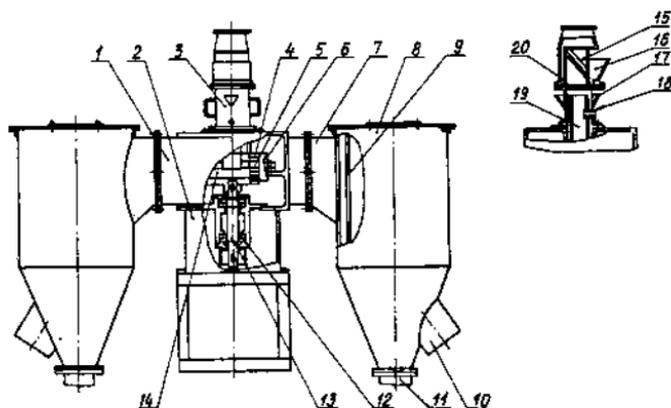


Рис. 3.4. Рушка центробежная А1-МЦП

Распределительное устройство 3 включает в себя цилиндрическую камеру 20 с расположенной в ней предохранительной решеткой 15, цилиндрический патрубок 19, к внешней поверхности которого прикреплена кольцевая перегородка 14, отделяющая верхнюю рабочую зону ротора от нижней. Цилиндрический патрубок снабжен трубками 18 для всасывания воздуха в нижнюю рабочую зону. В верхней части цилиндрической камеры 20 имеются отверстия для всасывания воздуха в верхнюю рабочую зону, прикрытые карманами 17.

Для извлечения крупных примесей, задержанных решеткой 15 камеры 20, против нее выполнено отверстие, которое сбоку прикрывается шарнирно-прикрепленным карманом 16.

Рушка работает следующим образом.

Семена подсолнечника непрерывным потоком поступают на предохранительную наклонную решетку, где равномерно распределяются тонким слоем по всей ее площади, быстро просыпаются через нее, чему способствует дополнительно всасываемый воздух, поступающий через отверстие в цилиндрической камере, расположенной против предохранительной решетки.

Крупные однородные примеси, задержанные решеткой, скатываются вниз, собираясь в кармане 16.

Затем семена движутся в направлении каналов 5 рабочих дисков 4 верхней и нижней рабочих зон вместе со всасываемым воздухом через трубки 18 и отверстия, прикрытые карманами 17.

Из радиальных каналов 5, футерованных вкладышами из износостойкой керамики, семена подсолнечника выбрасываются на кольцевую деку 6. При этом происходит обрушивание их за счет однократного на-

Техническая характеристика рушки А1-МЦП

Производительность техническая (по семенам подсолнечника), т/сут	не менее 200
при качестве рушанки, %, из семян	
целяк и недорущ, сорт./гибрид.	до 25/до 30
сечка	до 12
масляная пыль	до 10
Номинальная установленная мощность, кВт	15
Частота вращения ротора, с ⁻¹	38,3; 40,0; 41,6; 43,3
Диаметр диска ротора, мм	380
Число параллельно работающих дисков	4
Число радиальных каналов в диске	15
Масса рушки, кг	не более 550
Габаритные размеры, мм	не более 1430 × 850 × 1310

правленного удара вдоль большой оси семени. Рушанка по тангенциальным патрубкам 7 из корпуса 1 поступает в цилиндрическое сито 9, расположенное внутри циклона 8. При движении рушанки нисходящей спиралью по цилиндрическому ситу 9 происходит отделение из нее части маслянистой пыли. Затем она, просеиваясь через сито, поступает в кольцевое пространство между ним и циклоном 8, откуда отводится по течке 11 в линию ядра. По течке 10 рушанка поступает на аспирационную ветку.

Для эффективной работы центробежной рушки необходимо, чтобы ротор был тщательно отбалансирован и отцентрирован (расстояние между ротором и декой должно быть одинаковым по всей окружности). Семена, подаваемые на обрушивание, должны быть очищены и подача их должна быть равномерной. Качество обрушивания весьма чувствительно к скорости вращения ротора и ее надо тонко регулировать.

Надо постоянно следить за работой машины, систематически очищать рушку от пыли и при наличии признаков неисправности (стук и т.п.) немедленно останавливать ее с целью выявления причины и устранения неисправности.

При круглосуточной работе следует не реже одного раза в месяц останавливать рушку и производить частичную разборку для проверки состояния рабочих деталей ротора и деки. При этом, если необходимо, производят замену изношенных деталей и замену в подшипниковых узлах смазки. В период капитального ремонта проводят полную разборку рушки, очищают все узлы, красят машину.

При работе на рушке надо соблюдать основные правила техники безопасности. К обслуживанию машины допускаются лица, прошедшие обучение и инструктаж по технике безопасности. Рабочее место и саму машину следует содержать в чистоте. Электрооборудование и проводка должны быть исправны, тщательно изолированы и заземлены. Перед пуском машины проверяют ее исправность. Запрещается пуск машины со снятыми ограждениями. Нельзя на ходу надевать ремни, производить смазку, подтягивать резьбовые соединения. При появлении во время работы признаков неисправности (стук и т.п.) машину немедленно останавливают.

Возможное появление вибраций при работе рушки связано с неуравновешенностью машины из-за установки ее с отклонением от уровня. Остановив машину, следует отбалансировать ротор, а также установить машину по уровню, приняв за базу обработанный фланец станины.

Вопросы расчета центробежной рушки. Зависимости перемещения и скорости семян по ротору центробежной рушки

$$r = c_1 \exp k_1 \tau + c_2 \exp k_2 \tau, \quad (3.56)$$

$$v = c_1 k_1 \exp k_1 \tau + c_2 k_2 \exp k_2 \tau, \quad (3.57)$$

где r — перемещение семени вдоль радиальной лопатки на роторе центробежной рушки, m ; v — скорость семени при движении вдоль радиальной лопатки на роторе центробежной рушки, m/c ;

$$c_1 = (v_1 - r_1 k_2) / (k_1 - k_2), \quad (3.58)$$

$$c_2 = (r_1 k_1 - v_1) / (k_1 - k_2), \quad (3.59)$$

где c_1 и c_2 — постоянные интегрирования уравнения движения семени по ротору центробежной рушки; r_1 и v_1 — соответственно, начальный радиус лопатки и начальная скорость при входе на лопатку (на радиусе r_1).

$$k_1 = \omega (-f + \sqrt{1+f^2}), \quad (3.60)$$

$$k_2 = -\omega (f + \sqrt{1+f^2}), \quad (3.61)$$

где k_1 и k_2 — корни характеристического уравнения движения семени по ротору центробежной рушки; f — коэффициент трения семян по стали (можно принять $f = 0,31$). Тогда $k_1 = 0,735\omega$ и $k_2 = -1,355\omega$; $c_1 = 0,65r_1 + v_1/2,09\omega$ и $c_2 = 0,35r_1 - v_1/2,09\omega$.

Цель начальной части расчета — определить необходимую для обрушивания семян скорость вращения ротора.

Порядок расчета следующий. Исходя из влажности семян w , определяется требуемая работа разрушения A_c и нормальная скорость встречи с декой

$$C_n = \sqrt{2A_c}. \quad (3.62)$$

В соответствии со схемами скоростей при встрече семени с декой (рис. 3.5 и 3.6)

$$C_n = C_R \cos \alpha. \quad (3.63)$$

Абсолютная скорость семени

$$C = C_R / \cos \gamma = C_n / (\cos \gamma \cos \alpha). \quad (3.64)$$

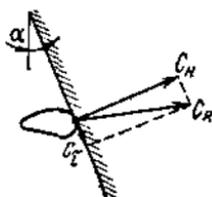


Рис. 3.5. Схема скоростей при встрече семени с декой

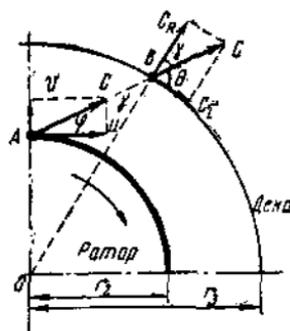


Рис. 3.6. Треугольники скоростей семян при соде с ротора и встрече с декой

Для нахождения угла γ воспользуемся теоремой синусов

$$OA/\sin \gamma = OB/\sin \angle OAB, \quad (3.65)$$

где $OA = r_2$; $OB = r_3$; $\angle OAB = 90 + \varphi$;

$$\sin \gamma = (OA/OB) \sin \angle OAB = (r_2/r_3) \sin(90 + \varphi) = (r_2/r_3) \cos \varphi \quad (3.66)$$

$$\cos \gamma = \sqrt{1 - \sin^2 \gamma} = \sqrt{1 - \left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2 \cos^2 \varphi}. \quad (3.67)$$

С учетом характера движения семени по ротору — при условии $r_2 \geq 3r_1$ скорость приближается к установившемуся значению — следует выбирать r_2 , и для этого случая уравнения движения упрощаются

$$r = (0,65r_1 + v_1/2,09\omega) \exp(0,735\omega t) \quad (3.68)$$

$$v = (0,478 \omega r_1 + 0,358v_1) \exp(0,735\omega t). \quad (3.69)$$

Угол φ между абсолютной и переносной скоростью

$$\varphi = \operatorname{arctg}(v/u). \quad (3.70)$$

Чтобы определить v по уравнению (3.69), надо предварительно определить t из уравнения (3.68) при $r = r_2$ и задавшись ω .

Переносная скорость семян при выходе с ротора

$$u = \omega r_2. \quad (3.71)$$

Абсолютная скорость семян при выходе с ротора

$$C = \sqrt{v^2 + u^2 + 2vucos\varphi}. \quad (3.72)$$

Поскольку ω влияет на определение абсолютной скорости по уравнению (3.72) и по уравнениям (3.64, 3.62 и 3.67), то суть расчета заключается в поиске корня трансцендентного уравнения, который получается приравниванием этих уравнений и преобразованиями

$$\Phi = \sqrt{v^2 + u^2 + 2vucos\varphi} - \sqrt{2A_c} / [\cos\alpha \sqrt{1 - \left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2 \cos^2 \varphi}] = 0. \quad (3.73)$$

Расчет производительности центробежной семенорушки (т/сут) возможно осуществить по формуле

$$Q = 6,65nz(r_2 - r_1) m_c / [l_c \ln(r_2/r_1)], \quad (3.74)$$

где n — число оборотов ротора, об/мин; r_2, r_1 — радиусы, соответственно начала и конца лопатки, м; m_c, l_c — соответственно, масса и длина одного семени подсолнечника (можно принять $m_c = 0,00071$ кг и $l_c = 0,011$ м);

z — число лопаток на роторе центробежной рушки, которое ограничено соотношением

$$z \leq 2\pi r_1 / (kl_c + \delta), \quad (3.75)$$

где $k = 2$ — коэффициент запаса по стесненности прохода семени в канал; δ — толщина лопатки, м ($\delta \sim 0,002 \dots 0,003$ м).

Расчет затрат мощности (кВт) на работу центробежной рушки складывается из определения составляющих:

— мощность, необходимая на сообщение семенам кинетической энергии

$$N_1 = QW/1000 = 0,0005Q(c^2 - c_1^2), \quad (3.76)$$

где Q — производительность рушки, кг/с; W — кинетическая энергия, приобретенная 1 кг семян при прохождении по ротору; c и c_1 — абсолютная скорость семян, соответственно, на выходе и входе на роторе (определяются при соответствующих скоростях v и v_1 ; u и u_1);

— мощность, необходимая на преодоление трения семян о нижний диск ротора

$$N_2 = 0,304 \cdot 10^{-2} Q(r_2 - r_1); \quad (3.77)$$

— мощность, необходимая на преодоление трения семян о лопатки ротора

$$N_3 = 0,32 \cdot 10^{-4} Qn(r_2^2 - r_1^2)/r_1; \quad (3.78)$$

— мощность, необходимая на вентиляцию

$$N_4 = 0,12 \cdot 10^{-4} (2\pi r_1 - z\delta) h v_1 r_2^2 n^2 / \eta, \quad (3.79)$$

где $\eta = 0,4$ — гидравлический к.п.д. вентилятора; h — высота лопаток (можно принять $h = 0,03$ м);

— мощность, необходимая на преодоление трения ротора о воздух

$$N_5 = M_{\text{тр}} n / 9750, \quad (3.80)$$

где $M_{\text{тр}}$ — момент трения.

При турбулентном режиме

$$M_{\text{тр}} = 0,01187 r_2^2 n^2 / \text{Re}^{0,25}. \quad (3.81)$$

При ламинарном режиме

$$M_{\text{тр}} = 0,288 r_1^2 n^2 / \text{Re}^{0,5}. \quad (3.82)$$

Критическое значение критерия Рейнольдса

$$\text{Re}_{\text{кр}} = \pi r_2^2 n / 15\nu = 1 \cdot 10^5, \quad (3.83)$$

где ν — кинематическая вязкость воздуха, м²/с.

Общая необходимая мощность для работы центробежной семенорушки

$$N = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5) / \eta_{\text{мех}}, \quad (3.84)$$

где $\eta_{\text{мех}}$ — механический к.п.д. центробежной семенорушки, равный 0,5...0,7.

Дисковый шелушитель

Обрушивание хлопковых семян разрезанием и скалыванием осуществляют на дисковых шелушителях. Наибольшее распространение получили дисковые машины МШВ (рис. 3.7).

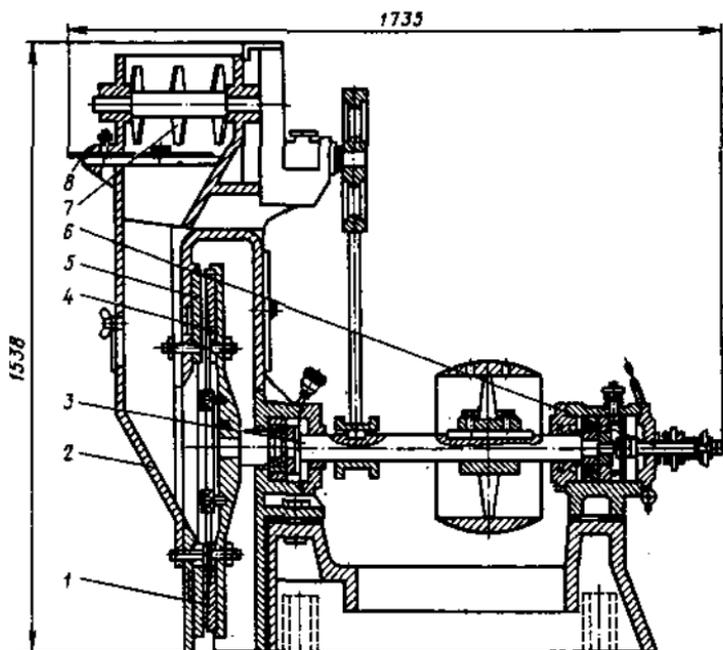


Рис. 3.7. Дисковый шелушитель типа МШВ для хлопковых семян

Основными частями машины являются: подвижный 1 и неподвижный 5 диски; питающее устройство, включающее ворошитель с лопастями 7, установленный в небольшом приемном бункере, под которым расположена отделенная регулировочной заслонкой 8 вертикальная течка 2, направленная к центру подвижного диска; горизонтальный вал 3, на который насажены подвижный диск, шкив передачи к ворошителю, ведомый шкив привода, механизм для изменения зазора между дисками 6.

На рабочих органах машины — подвижном и неподвижном дисках — установлено по шесть секторов-ножей 4. Конструкция сектора-ножа дискового шелушителя показана на рис. 3.8. Угол сектора 60° . На лицевой поверхности ножа имеются рифли треугольного профиля, расположенные по радиусу. Ножи устанавливаются на лицевую поверхность подвиж-

диске. Основным требованием является равенство массы секторов-ножей, расположенных противоположно на диаметре. Этого добиваются путем дополнительных операций засверливания или подливания в специальные углубления легкоплавких металлических сплавов, например баббита, до полного уравнивания каждой пары секторов-ножей.

После установки ножей на диск следует убедиться в том, что диск уравновешен. Для этого подвижный диск, установленный в подшипниках машины (возможна установка вала с диском в балансировочном приспособлении), приводят во вращение вручную, и после некоторого периода свободного вращения производят остановку диска. Отмечают низшую точку остановившегося диска и повторно приводят его во вращение вручную. После остановки диска проверяют положение ранее сделанной отметки низшей точки. Если она опять оказалась внизу, то уравнивание не достигнуто, и самый тяжелый сектор-нож расположен в нижней части диска. В этом случае операцию уравнивания повторяют сначала, так как работа шелушителя на плохо отбалансированном подвижном диске сопровождается вибрациями, нарушающими нормальную работу машины. Уравнивание проводят до тех пор, пока при повторных прокручиваниях диска положения его остановки не станут различными.

Главным недостатком дискового шелушителя является неоднократное воздействие ножей на семена, что ведет к замасливанию шелухи и соответствующему росту потерь масла в производстве. Другие недостатки: наличие привода с плоскоременной передачей при больших габаритах, скорости и передаваемой мощности делает его опасным для обслуживающего персонала; изменение скорости вращения подвижного диска возможно путем трудоемкой смены шкивов; в машине нет упорных подшипников, и восприятие значительных осевых усилий радиальными подшипниками ухудшает условия их эксплуатации.

Техническая характеристика дискового шелушителя МШВ

Производительность по семенам, т/сут	110–120
Установленная мощность электродвигателя, кВт	28
Диаметр диска, мм	920
Габаритные размеры, мм	1735 × 1216 × 1538
Масса машины, кг	1450

Прежде чем запустить дисковый шелушитель, надо осмотреть состояние подшипников и привода (двигателя и ременных передач), а также крепление ножей к дискам и их состояние. При необходимости следует очистить ножи и дисковую камеру от налипшей рушанки (ядра и шелухи).

После того как корпус шелушителя будет закрыт, а диски раздвинуты с помощью приведения рукоятки в горизонтальное положение, машина готова к пуску. Закрыв предварительно шибер питательной течки, включают электродвигатель шелушителя. В случае нормальной работы машины начинают подачу материала и постепенно сдвигают диски при помощи рукоятки. При этом наблюдают за качеством получаемой рушанки и за нагрузкой по амперметру на электродвигателе.

Лица, обслуживающие машину, следят за непрерывным и равномерным поступлением семян, а также за состоянием подшипников и электродвигателя. При попадании крупных посторонних предметов между дисками надо немедленно с помощью рукоятки механизма изменения зазора отодвинуть подвижный диск и пропустить посторонний предмет.

Остановку шелушителя начинают с перекрытия шибером питательной течки, затем после доработки ранее попавших в шелушитель семян выключают электродвигатель и с помощью рукоятки раздвигают диски.

Контрольные вопросы

1. Чем вызвана необходимость обрушивания масличных семян?
2. Какие два основных способа обрушивания применяют при переработке семян подсолнечника?
3. Каковы основные узлы бичевой семенорушки?
4. Каково назначение питающего устройства, и как оно работает в бичевой семенорушке?
5. Как регулируют частоту вращения бичевого барабана?
6. Что влияет на однородность обрушивания?
7. Как устроена и работает центробежная рушка?
8. Как устроен и работает дисковый шелушитель?
9. Как производят смену ножей и балансировку подвижного диска шелушителя?
10. Как производят пуск и остановку машин для обрушивания масличных семян?

Задания

1. Определите диаметр бичевого барабана семенорушки, предназначенной для обрушивания семян подсолнечника влажностью 6,5%.
2. Для обрушивания 150 т/сут семян подсолнечника влажностью 8% можно использовать либо три бичевые семенорушки МРН, либо одну центробежную рушку. Какой из вариантов энергетически выгоднее?
3. Определите производительность бичевой рушки. Исходные данные для расчета взять из табл. 3.1 (10 вариантов).
4. Определите производительность центробежной рушки. При этом следует определить диаметр ротора и необходимую частоту вращения ротора. Исходные данные для расчета взять из табл. 3.2 (10 вариантов).

Таблица 3.1

Показатели	Ед. изм.	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина бичей	м	1,1	1,0	0,9	1,0	1,1	0,9	1,1	0,9	1,0	1,0
Влажность семян	%	7	7	7	5	5	5	6	6	6	6
Диаметр барабана	м	0,8	0,9	0,7	0,7	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,8
Ширина выходной точки ружки	мм	80	90	70	70	80	90	90	70	80	90

Таблица 3.2

Показатели	Ед. изм.	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число каналов		14	18	16	16	14	18	18	16	14	16
Начальный радиус канала	мм	70	80	90	80	90	70	90	70	80	80
Влажность семян	%	6	6	6	7	7	7	5	5	5	5

ГЛАВА 4.

МАШИНЫ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ РУШАНКИ

После прохождения через рушки масляные семена превращаются в рушанку, т.е. многокомпонентный неоднородный дисперсный продукт, представляющий собой смесь ядра, лузги, недоруша и сечки.

Ядро и лузга являются морфологическими частями масляных семян. Недоруш — это масляное семя, которое, пройдя через рушку, лишь частично потеряло лузгу. В состав рушанки также входят семена, полностью сохранившие лузгу, — это так называемый цельк.

Сечкой называют частички раздробленного ядра, обычно по размеру менее половины размера целого ядра (частички ядра по размеру более половины размера целого ядра относят к фракции ядра в составе рушанки). Слишком мелкие частички дробленого ядра в составе рушанки называют масляной пылью.

Назначением технологической операции разделения рушанки является получение самостоятельных технологических потоков:

- ядра, подлежащего дальнейшей переработке с целью извлечения масла (в поток ядра вместе с основным компонентом рушанки — ядром включаются сечка и масляная пыль);

- лузги, отделение которой как отхода производства связано со стремлением снижения потери масла, сорбируемого пористой структурой лузги, снижения объема перерабатываемого материала и тем самым нагрузки на технологическое оборудование, снижения попадания в масло компонентов липидов (восков), ухудшающих его качество;

- недоруша, направляемого на дополнительное обрушивание.

Степень различия между отдельными свойствами компонентов рушанки является предпосылкой для выбора принципа разделения рушанки, обоснования схемы и режимов работы оборудования.

В настоящее время получили распространение два типа машин: машины, разделяющие рушанку вначале по размерам на ситах и затем в воздушном потоке по аэродинамическим свойствам (аспирационные се-

меновойки при разделении рушанки семян подсолнечника); машины, разделяющие рушанку на ситах с различным движением (двойные встряхиватели и биттер-сепараторы при разделении рушанки семян хлопчатника).

Аспирационная семеновейка М2С-50

Аспирационная семеновейка М2С-50 (рис. 4.1) состоит из двух машин: отсева 7 и вейки 25, расположенных одна над другой и соединенных между собой гибкими рукавами 11.

Рассев семеновейки предназначен для разделения рушанки на несколько фракций, размеры которых изменяются в узком диапазоне. Попавшие в одну фракцию, выровненную по размеру, различные компоненты рушанки, прежде всего ядро и лузга, имеют большое различие в аэродинамических свойствах. Таким образом, эффективная работа отсева служит условием четкого разделения полученных фракций в каналах вейки. Рассев представляет собой деревянный короб 5, наклонно расположенных (под углом 3...5°) направляющих которого находятся три яруса выдвижных сит 10. Короб разделен на две половины продольной вертикальной перегородкой и, соответственно, на каждом ярусе имеется по два одинаковых выдвижных сита. Под каждым ситом расположены поддоны 4 с различными наклонами (на начальных участках сит наклон поддонов противоположен наклону сит, а на конечных участках сит наклон поддонов совпадает с наклоном сит) для сбора и транспортировки частиц, прошедших через сита. В отсевах применяются штампованные сита с круглыми отверстиями, размеры которых изменяются не только от яруса к ярусу, но и различаются на начальных и конечных участках сит одного яруса (рис. 4.2). Для улучшения просеивания на ситах устанавливают ворошители.

Рассев подвешивают на четырех тросах 8 к потолочной раме над вейкой. Сверху отсева установлена приемная коробка 6 с гибким рукавом для подачи рушанки, а снизу отсева с противоположной стороны крепятся шесть гибких рукавов для передачи полученных в отсевах фракций в каналы аспирационной вейки.

В центре отсева на его верхней крышке установлено приводное устройство 9, которое состоит из вертикального вала, двух балансиров и шкива. В балансирах эксцентрично крепятся сменные грузы, что позволяет, изменяя массу балансиров, регулировать амплитуду кругового поступательного движения отсева. Вращательное движение вертикальному валу вместе с балансирами передается через клиноременную передачу от электродвигателя, смонтированного на кронштейне, укрепленном на крышке корпуса отсева.

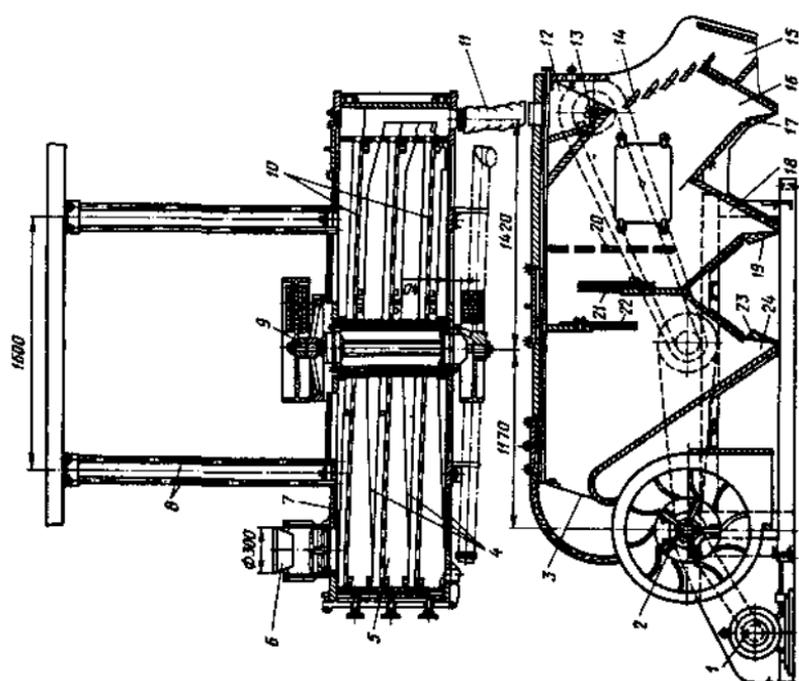
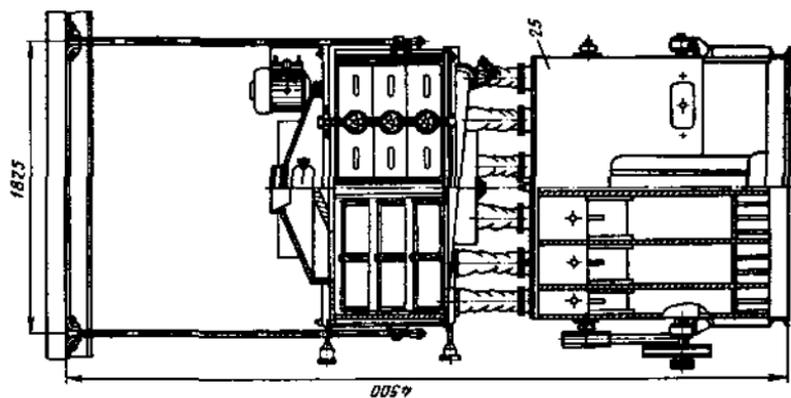


Рис. 4.1. Общий вид семеновейки М2С-50

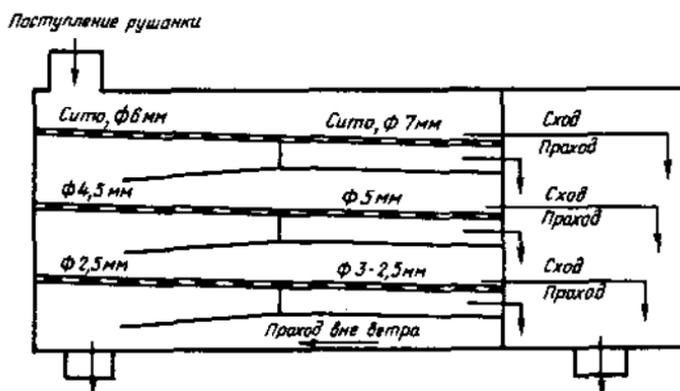


Рис. 4.2. Схема сит рассева вейки

Аспирационная вейка представляет собой прямоугольный деревянный корпус, разделенный продольными перегородками на шесть каналов. В верхней части корпуса под патрубками, по которым пересыпаются из рассева фракции рушанки на разделение в каналы вейки, размещено питающее устройство 12 в виде рифленого валика и подвижной заслонки 13. Заслонки изготовлены индивидуально для каждого канала, в то время как валик общий — на все каналы. Под питающим устройством расположено несколько (обычно четыре-пять) наклонных полочек, так называемых жалюзи 14. Полочки изготовлены из тонкой листовой (толщиной 1 мм) стали, и угол их наклона может изменяться при регулировании режима работы вейки.

Снизу корпуса вейки имеется три конуса 16, 18, 24 с автоматическими клапанами 17, 19, 23. Конструктивно клапан представляет собой просто заслонку на шарнире. В нерабочем состоянии вейки, т.е. при выключенном вентиляторе, клапана-заслонки находятся в висячем положении, и щели в вершинах конусов открыты. При включении вентилятора, который создает разрежение в корпусе вейки, клапана-заслонки поворачиваются вокруг шарниров, прижимаются к противоположным стенкам конусов и тем самым перекрывают щели в вершинах конусов. По мере накопления в конусах рассортированных фракций рушанки растет давление на клапана-заслонки. Когда это давление превысит статическое давление разрежения, создаваемое вентилятором, клапан открывается и накопленные в конусах частицы рушанки высыпаются в расположенные под ними транспортные шнеки. Как только конус опорожнится и при этом давление станет меньше статического давления разрежения, клапан-заслонка закроется.

Каждый из шести каналов вейки снабжен шиберным механизмом 3 регулирования скорости воздушного потока. Шибера установлены в хвостовой части вейки непосредственно перед вентилятором, а штурвалы, регулирующие положение шибера, вынесены на переднюю часть вейки, что позволяет вести регулирование, наблюдая процесс сепарирования на жалюзи вейки. Внутри корпуса вейки расположены решетка 20 и две перегородки 21, 22 для аэродинамического воздействия на поток воздуха с целью выделения из потока сепарируемой рушанки.

Все шесть каналов вейки подключены к одному вентилятору 2, который приводится в движение электродвигателем 1 посредством клиноременной передачи. Привод питателя также осуществлен от этого же электродвигателя через контрпривод.

Семеновейка работает следующим образом. В рабочих условиях рассев с помощью механизма привода совершает круговое поступательное движение. Рушанка, подлежащая разделению, поступает через рукав в приемную коробку и далее на сита верхнего яруса.

Процесс сепарирования в расसेве происходит следующим образом. Сита верхнего яруса имеют по своей длине два участка, различающиеся диаметром отверстий (на начальном участке сита с отверстием $\varnothing 6$ мм, а на конечном участке сита — $\varnothing 7$ мм). Таким образом, рушанка, попав на сита верхнего яруса, на начальном участке делится на проход через сита с отверстиями $\varnothing 6$ мм и, соответственно, сход. Проход, попадая на поддон с противоположным наклоном, подводится к началу сит среднего яруса. Сход попадает на конечный участок верхнего яруса, где делится на сход (частицы крупнее $\varnothing 7$ мм, крупная лузга и необрушенные семена), который через рукав поступает в первый канал вейки, и проход (частицы диаметром больше $\varnothing 6$ мм и меньше $\varnothing 7$ мм, состоящие из лузги и чистого ядра), который через рукав поступает во второй канал вейки.

Сита среднего яруса на начальном участке имеют отверстия $\varnothing 4,5$ мм, а на конечном участке — $\varnothing 5$ мм. Сходом с этих сит идут в третий канал целое мелкое ядро, крупные частицы лузги и ядра. Проход через отверстия $\varnothing 4,5$ мм по поддону с противоположным наклоном скатывается к началу сит нижнего яруса. Проход через отверстия $\varnothing 5$ мм, состоящий из частиц ядра и лузги среднего размера, направляется в четвертый канал вейки.

Сита нижнего яруса на начальном участке имеют отверстия $\varnothing 2,5$ мм, а на конечном участке — $\varnothing 3$ мм. Сходом с этих сит идет в пятый канал сечка ядра и лузги. Проход через отверстия $\varnothing 2,5$ мм является седьмой фракцией, получаемой в расसेве, которая, минуя вейку, выводится из машины через течку высевачного прохода непосредственно в поток ядра. Проход через отверстия $\varnothing 3$ мм, состоящий из мелких частиц ядра и лузги, направляется в шестой канал вейки.

Все шесть фракций по рукавам ссыпаются в питающее устройство вейки и попадают на наклонные полочки. Пересыпаясь с полочки на полочку, фракции рушанки подвергаются воздействию воздуха, просасываемого в зазорах между полочками вентилятором.

Легкие компоненты в обрабатываемых на полочках фракциях увлекаются потоком воздуха внутрь аспирационных каналов, а тяжелые компоненты пересыпаются с полочки на полочку и выводятся в нижнее отверстие корпуса вейки непосредственно перед полочками.

Легким компонентом преимущественно является лузга, а тяжелыми — ядро, целые семена. На практике четкого отделения лузги на полочках не добиваются, и вместе с лузгой увлекается часть ядра, а с ядром — часть лузги.

Непосредственно за полочками воздушный поток вместе с увлеченными частицами попадает в расширенное сечение канала за счет первого конуса, где скорость потока воздуха, соответственно, падает. При этом крупная лузга и часть ядра, увлекаемая потоком воздуха, выпадают в первом конусе. Осевшая в первом конусе смесь частиц называется *перевеем*; так как она содержит ядро, то подлежит повторной переработке.

Затем поток воздуха с увлеченными частицами набегает на решетку. В этом же сечении расположен второй конус. Здесь выпадает в конус основное количество лузги, как вследствие потери скорости потока в расширенном сечении, так и в результате потери скорости частицами при соударении с элементами решетки.

Поток воздуха после этого еще несколько раз меняет свое направление, огибая две перегородки, и это способствует осаждению оставшихся частиц лузги в третьем конусе. Полностью осадить частицы из воздушного потока не удастся, и оставшаяся мелкая лузга, пройдя шибберное устройство и вентилятор, выбрасывается в воздухоочистительное устройство.

Предыдущая модификация семеновейки М1С-50 имеет меньшую частоту вращения вала рассева — 180 об/мин, и привод вала осуществляется через веретено и контрпривод.

Пуск семеновейки производят после того, как на место закреплены приемный и выпускные рукава рассева. До пуска проверяют отсутствие в машине посторонних предметов, наличие смазки в подшипниках, надежность крепления болтовых соединений.

Проверяют горизонтальность рассева и, вращая от руки балансиры, проверяют, не задевают ли они вертикальные стяжки кузова. Затем семеновейку пускают на холостом ходу и убеждаются, что машина работает спокойно, без стука; вал и шкивы не бьют и ремни со шкивов не сходят; масло не вытекает из подшипников и они не греются; рукава надежно

закреплены; клапана конусов аспирационной камеры прижаты, и нет подсосов воздуха.

Проверяют все регулирующие приспособления (у питательного валика и ветровых клапанов аспирационной камеры). Выявленные неполадки устраняют после остановки машины, а эффект их устранения проверяют после дополнительного пуска на холостом ходу.

Полностью исправную семеновейку можно загружать рушанкой. При этом надо следить за равномерным распределением рушанки по длине питательного валика, не допускать забивания клапанов вейки. Требуется внимания состояние крепления ситовых рам в кузове, работа приводных ремней, исправность матерчатых рукавов, а также состояние подшипников. В целом надо содержать машину в чистоте, периодически удалять накопившуюся пыль, следить за наличием ограждений для шкивов и ремней. При появлении признаков неисправности (стук и т.п.) машину следует немедленно отключить от подачи рушанки и остановить для устранения неисправности.

Основными правилами техники безопасности при работе семеновейек являются следующие: запрещается пускать машину без ограждений шкивов и ремней, надевать на ходу ремни, становиться на машину при ее работе; проходы вокруг машины не должны быть загромождены; электродвигатели, электропроводка и пусковая аппаратура должны быть исправны, места подключений изолированы, и необходимые заземления должны быть сделаны.

Достоинства вейки: достаточно высокая производительность (соответствующая современным обрушивающим машинам); относительно хорошее отделение лузги от ядра при малых потерях последнего с отходящей лузгой.

Техническая характеристика семеновейки М2С-50

Производительность, т/сут	50
Частота вращения вала рассева, об/мин	200
Вывос ядра в лузгу, %, не более	0,5
Лузжистость ядра, %	7-8
Эксцентриситет, мм	45
Ширина сит, мм	700
Площадь ситовой поверхности, м ²	11,5
Расход воздуха, м ³ /ч	9000
Установленная мощность, кВт	6
Габаритные размеры, мм	4225 × 2235 × 4770
Масса, кг	3177

клапаны 4 для регулирования количества отсасываемого воздуха. Привод вейки осуществляется электродвигателем, смонтированным на жесткой раме, а привод вентилятора — от электродвигателя через клиноременную передачу.

Рассев представляет собой металлический корпус, подвешенный к потолочной раме на четырех стальных канатах 8, перекинутых через опоры 9. Рама крепится к перекрытию болтами, канаты к рассеву — при помощи замков 15 и клиньев 16. Внутри корпуса расположены в три яруса решетчатые рамки 13.

В передней части рассева, сверху находится предрассев 6 с двумя ярусами решетчатых рамок. Приемный патрубок 5 предрассева соединен матерчатым рукавом с самотеком, подающим продукт на машину.

В несущей раме рассева установлены подшипники, в которых вращается вал с балансиром 7. Вращение вала осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу.

В задней части рассева расположена выводная коробка 11 с перепускными клапанами, под которой — выходные патрубки рассева, соединяющиеся с приемными патрубками вейки матерчатыми рукавами 14, прикрепленными с помощью резиновых колец.

Техническая характеристика машины семеновесной Р1-МС-2Т

Техническая производительность по исходному продукту (рушанке), г/сут, не менее	100
Масличность (без восков) отходящей лузги, сверх товарной (не более), %:	
из осадочных камер вейки	1
после контроля	0,8
Лузжистость ядра, %, не более	12
Вынос ядра в лузгу, %, не более	1,1
Номинальная мощность, кВт	6
Частота круговых колебаний рассева, с ⁻¹	3,17—3,58
Радиус траектории круговых колебаний рассева, мм	50
Частота вращения вала вентилятора, с ⁻¹	11,8—13
Расход воздуха, м ³ /ч, не более	9000
Занимаемая площадь в смонтированном состоянии, м ² , не более	9,2
Удельное потребление электроэнергии, кВтч/т, не более	1,1
Удельный расход воздуха, м ³ /т, не более	2140
Производительность на единицу занимаемой площади, т/сут · м ² , не менее	10,8
Габаритные размеры машины, мм, не более	4000 × 2300 × 4500
Масса изделия (без запасных, монтажных и сменных частей), кг, не более	3200

Вопросы теории и расчета семеновейки

Рассмотрим *расчет производительности* по сходу наклонных сит расцева с круговым поступательным движением.

Частица, находящаяся на наклонной плоскости, которая совершает круговое поступательное движение, находится под действием трех сил (рис. 4.4):

- силы тяжести частицы $G = mg$;
- силы трения $F = fN$ (где f – коэффициент трения, N – нормальная сила);
- центробежной силы $P = mv^2/r$ (где v – скорость частицы, м/с; r – радиус вращения частицы, м).

Сила тяжести G может быть разложена на две составляющие: параллельную наклонной плоскости $G \sin \alpha$ и нормальную наклонной плоскости $G \cos \alpha$. Возникающая центробежная сила (на рис. 4.4 не показана) действует в горизонтальной плоскости и меняет свое направление (принимая, что направление вниз по сити считается положительным).

Тогда равнодействующая сил, действующих параллельно сити

$$T = P \cos \alpha + G \sin \alpha = \frac{mv^2}{r} \cos \alpha + mg \sin \alpha, \quad (4.1)$$

а нормально сити

$$N = G \cos \alpha - P \sin \alpha = mg \cos \alpha - \frac{mv^2}{r} \sin \alpha. \quad (4.2)$$

Сила трения при таком нормальном давлении

$$F = fN = f \left(mg \cos \alpha - \frac{mv^2}{r} \sin \alpha \right). \quad (4.3)$$

В момент начала движения

$$T = F \quad (4.4)$$

или

$$\left(\frac{mv^2}{r} \right) \cos \alpha + mg \sin \alpha = f \left(mg \cos \alpha - \frac{mv^2}{r} \sin \alpha \right). \quad (4.5)$$

Поделим на m и преобразуем (4.5)

$$\frac{v^2}{r} \cos \alpha + f \frac{v^2}{r} \sin \alpha = fg \cos \alpha - g \sin \alpha, \quad (4.6)$$

т.к. $f = \operatorname{tg} \varphi$, то

$$\frac{v^2}{r} (\cos \alpha + \operatorname{tg} \varphi \sin \alpha) = g (\operatorname{tg} \varphi \cos \alpha - \sin \alpha). \quad (4.7)$$

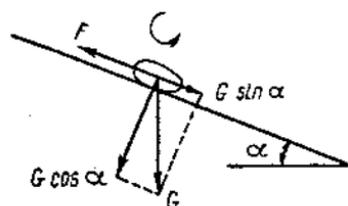


Рис. 4.4. Силы, действующие на частицу, находящуюся на наклонном, совершающем круговое поступательное движение, сите

Поскольку $\operatorname{tg} \varphi = \sin \varphi / \cos \varphi$, то

$$\frac{v^2}{r} = g (\sin \varphi \cos \alpha - \sin \alpha \cos \varphi) / (\cos \varphi \cos \alpha + \sin \varphi \sin \alpha) = g \operatorname{tg}(\varphi - \alpha). \quad (4.8)$$

Так как $v = \pi n / 30$, то

$$\pi^2 r^2 n^2 / 900 r = g \operatorname{tg}(\varphi - \alpha). \quad (4.9)$$

Отсюда

$$n'_{\min} = 29,9 \sqrt{\frac{\operatorname{tg}(\varphi - \alpha)}{r}}. \quad (4.10)$$

Для отрицательного направления центробежной силы (вверх)

$$n''_{\min} = 29,9 \sqrt{\frac{\operatorname{tg}(\varphi - \alpha)}{r}}. \quad (4.11)$$

Рабочая частота

$$n_p = (1, 2, \dots, 2, 0) n''_{\min}. \quad (4.12)$$

Путь частицы по сити петлеобразный. Упрощающее допущение — сила трения полностью погашается развивающейся центробежной силой. Поэтому частичка будет находиться под действием лишь одной силы $G \sin \alpha$. В этом случае путь этой частицы, движущейся равномерно ускоренно, можно определить по формуле

$$S_0 = (g/2) \sin \alpha \tau^2, \quad (4.13)$$

где τ — период полуоборота рассева, с.

Путь за один оборот рассева

$$S = 2 S_0 = g \sin \alpha (30/n)^2 = (900g/n^2) \sin \alpha = (8830/n^2) \sin \alpha. \quad (4.14)$$

Скорость движения частички по наклонному сити (м/с)

$$v_{cp} = S n / 60 = 147 \sin \alpha / n. \quad (4.15)$$

Производительность сита по сходу (кг/с)

$$Q = B v_{cp} h \rho' \mu, \quad (4.16)$$

где B — ширина сита, м; h — толщина слоя продукта на сите, м; ρ' — объемная масса продукта на сите, кг/м³; μ — коэффициент разрыхления.

Теория послыонного движения сыпучего материала и стесненного просеивания. Особенности ситового разделения рушанки, в отличие от ситовой очистки семян, являются большая доля проходовых частиц и высокий коэффициент внутреннего трения из-за наличия лузги. Это приводит к высокому слою материала на сите и для того, чтобы просеивание произошло, необходимо осуществить круговые колебания с большой амплитудой.

Рассмотрим теорию послыного движения сыпучего материала и стесненного просеивания, соответствующую особенностям ситового разделения рушанки.

Представим слой рушанки на горизонтальном сите, совершающем круговые поступательные колебания. Примем, что слой рушанки имеет одинаковую толщину над всеми точками поверхности сита, а сама рушанка по гранулометрическому составу и свойствам частиц однородна.

Частицы, расположенные в верхнем слое сыпучего материала, отличаются большей подвижностью по сравнению с частицами внутри сыпучего материала, и особенно — с частицами нижнего слоя. Это объясняется увеличением числа связей частиц по мере удаления их от свободной поверхности и при теоретическом рассмотрении может быть учтено увеличением коэффициентов трения нижележащих слоев.

Полагая толщину сыпучего тела намного меньшей горизонтальных размеров опорной поверхности, в виде модельных представлений можно рассматривать его как совокупность бесконечно большого числа слоев — пластин, равных по весу dG (отнесенному к единице опорной площади). При этом примем коэффициент сопротивления сдвигу слоев (коэффициент трения) непрерывной возрастающей функцией веса вышележащей части сыпучего материала.

Рассмотрим условия динамического равновесия элементарного слоя внутри сыпучего тела, скорость которого больше, чем вышележащего, но меньше, чем нижележащего. Поэтому сила трения F со стороны вышележащего слоя препятствует движению, а сила трения $F + dF$ со стороны нижележащего слоя способствует движению. Разность этих сил уравновешена силой инерции $P_{ин} = -\frac{dG}{g}a$, где a — ускорение рассматриваемого слоя.

Имеем $dP = dF$ или $\frac{a}{g}dG = dF$, откуда

$$a = g \frac{dF}{dG}. \quad (4.17)$$

Так как $F = fG$, где f — коэффициент сопротивления сдвигу в данном слое, а G — вес вышележащей части сыпучего материала, то

$$\frac{dF}{dG} = f + G \frac{df}{dG} = f_{np}. \quad (4.18)$$

Поскольку f — возрастающая функция G , то приведенный коэффициент сопротивления сдвигу слоев $f_{np} > f$ и тоже возрастает, но более прогрессивно по мере приближения слоя к опорной поверхности. Для рушанки зависимость $f(G)$ близка к линейной и аппроксимируется уравнением

$$f = f_0 + c G. \quad (4.19)$$

Введем обозначения: $j = G/G_m$ и $\xi = (f_m - f_0)/f_0$, где G и G_m — вес, соответственно, вышележащей части и всего сыпучего тела; f_0 и f_m — коэффициенты сопротивления сдвигу, соответственно, верхнего и нижнего слоев.

Тогда зависимости (4.19) и (4.18) принимают соответственно вид

$$f = f_0(1 + j\xi) \quad (4.20)$$

и

$$f_{np} = f_0(1 + 2j\xi). \quad (4.21)$$

Так как на нижний элементарный слой при предельном установившемся движении системы действуют в горизонтальной плоскости постоянные силы трения, то при круговых колебаниях опорной поверхности их равнодействующую можно рассматривать как центростремительную силу. Тогда все элементарные слои, как бесконечно тонкие пластины, совершают круговое поступательное движение, характеризуемое радиусами r , вокруг неподвижных точек. Пространственная картина скоростей, получаемых умножением угловой скорости на радиусы, по всей толще сыпучего тела показана на рис. 4.5.

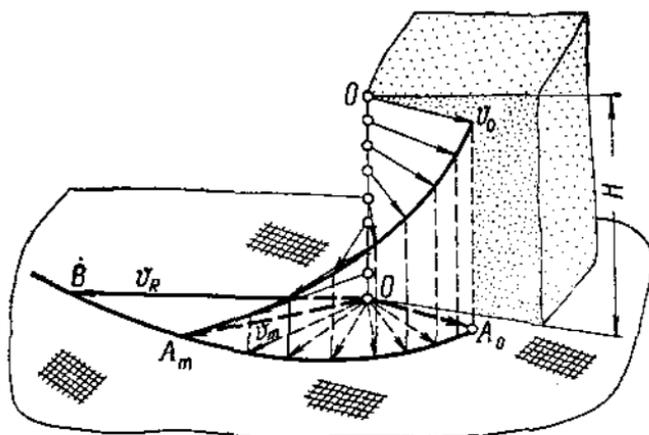


Рис. 4.5. Распределение скоростей элементарных слоев по высоте сыпучего материала

Разрыхление и процесс самосортирования в сыпучем теле, состоящем из частиц одинаковой плотности, но различных размеров, зависит от интенсивности послынного движения, которую определяют как относительную скорость двух смежных слоев, деленную на вес элементарного слоя dG

$$I = dv/dG. \quad (4.22)$$

Гортинским В. В. получено соотношение

$$I = \frac{g}{2\omega} \frac{F \frac{d^3F}{dG^3} + 3 \frac{dF}{dG} \frac{d^2F}{dG^2}}{\sqrt{F \frac{d^2F}{dG^2}}}. \quad (4.23)$$

Также показано, что сила трения F и ее производные при движении слоя относительно сита (при $\omega^2 R > (\omega^2 R)_{кр}$) не зависят от кинематических параметров, и интенсивность послынного движения обратно пропорциональна ω , а следовательно, при $\omega^2 R = \text{const}$ — пропорциональна \sqrt{R} .

Параметры послынного движения рушанки можно выразить через показатели механических свойств f_0 и ξ и переменную $j = G/G_m = h/H$, которую можно рассматривать как безразмерную координату, где H — общая толщина сыпучего тела, а h — толщина сыпучего тела над рассматриваемым слоем. Заметим, что для верхнего слоя $j = 0$, а для нижнего $j = 1$. В этом случае для координаты $0 < j < 1$ сила трения F и ее производные с учетом формулы (4.20)

$$F = G_m f_0 (1 + \xi j); \quad (4.24)$$

$$\frac{dF}{dG} = f_0 (1 + 2\xi j); \quad (4.25)$$

$$\frac{d^2F}{dG^2} = 2 \frac{f_0 \xi}{G_m} = \text{const}; \quad (4.26)$$

$$\frac{d^3F}{dG^3} = 0. \quad (4.27)$$

Интенсивность послынного движения в слое j можно определить, подставив в формулу (4.23) значения F и ее производных. Получим

$$I = \frac{3gf_0}{G_m \omega} \frac{\xi(1 + 2\xi j)}{\sqrt{2\xi(1 + \xi)j}}. \quad (4.28)$$

В качестве характеристики послынного движения сыпучего тела в целом вводится средняя интенсивность послынного движения

$$I_{cp} = \frac{1}{G_m} \int_0^{G_m} I dG = \int_0^1 I(j) dj. \quad (4.29)$$

Подставляя $I(j)$ из уравнения (4.28), получим после интегрирования и преобразований

$$I_{cp} = \frac{3gf_0}{G_m \omega} \sqrt{2\xi(1+\xi)}. \quad (4.30)$$

Критические значения ускорений сита, определяющие начало послыного движения в сыпучем слое и начало относительного движения нижнего слоя по опорной поверхности, соответственно будут

$$(\omega^2 R)_{кр1} = gf_0; \quad (4.31)$$

$$(\omega^2 R)_{кр2} = gf_0 \sqrt{1+6\xi(1+\xi)}. \quad (4.32)$$

Для увеличения интенсивности послыного движения целесообразно уменьшить угловую скорость ω до предела, соответствующего распространению этого движения на все сыпучее тело. Такому пределу отвечает второе критическое ускорение $(\omega^2 R)_{кр2}$ согласно уравнению (4.32); из этого же уравнения

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{gf_0}{R}} \sqrt[4]{1+6\xi(1+\xi)} \quad (4.33)$$

и после подстановки в формулу (4.30), получаем максимальное значение средней интенсивности послыного движения.

$$(I_{cp})_{max} = \frac{3\sqrt{R}}{G_m} \cdot \frac{\sqrt{2gf_0\xi(1+\xi)}}{\sqrt[4]{1+6\xi(1+\xi)}}. \quad (4.34)$$

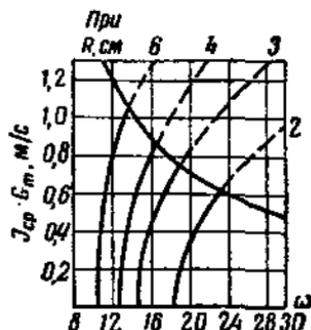
На рис 4.6 видно, что интенсивность послыного движения растет с ростом R и уменьшением ω .

Принимается, что скорость вертикального перемещения частицы в слое пропорциональна интенсивности послыного движения в данной точке сыпучего тела

$$w_z = AI, \quad (4.35)$$

где A — коэффициент, который зависит от формы, размеров и состояния поверхности данной частицы и окружающих ее частиц слоя.

Рис. 4.6. Зависимость средней интенсивности послыного движения в сыпучем материале ($f_0 = 0,7$ и $\xi = 0,2$) от ω при различном R



С учетом (4.28) и (4.35)

$$w_z = \frac{3Agf_0\xi(1+2\xi j)}{G_m\omega\sqrt{2\xi j(1+\xi j)}} \quad (4.36)$$

По мере погружения частицы в слой ее скорость уменьшается и в нижнем слое ($j = 1$)

$$w_z = \frac{3Agf_0\xi(1+2\xi j)}{G_m\omega\sqrt{2\xi j(1+\xi j)}} \quad (4.37)$$

Интерес представляет время t_0 погружения мелкой частицы от верхнего слоя до поверхности сита

$w_z = dh/dt$, где $dh = Hdj$, поэтому

$$dt = H \frac{dj}{w_z(j)} \quad (4.38)$$

Подставим $w_z(j)$ из (4.36)

$$dt = \frac{HG_m\omega}{3Agf_0\xi} \cdot \frac{\sqrt{2\xi j(1+\xi j)}}{(1+2\xi j)} dj \quad (4.39)$$

После интегрирования левой части от 0 до t_0 и правой — от 0 до 1 и, учитывая, что $G_m = \rho gH$, получим

$$t_0 = \frac{\omega H^2 \rho_0}{6\sqrt{2} A} \cdot \frac{1}{f_0 \xi^2} \left(2\sqrt{\xi(1+\xi)} - \arccos \frac{1}{1+2\xi} \right) \quad (4.40)$$

Представим формулу (4.40) в виде

$$t_0 = C_0 \omega H^2 \rho_0 B_0 \quad (4.41)$$

где $C_0 = \frac{1}{6\sqrt{2} A}$ — коэффициент, характеризующий сопротивление сыпучего тела погружению мелкой частицы; ρ_0 — средняя плотность сыпучего тела с включением межчастичного пространства; $B_0 = \frac{1}{f_0 \xi^2} \left(2\sqrt{\xi(1+\xi)} - \arccos \frac{1}{1+2\xi} \right)$ — безразмерный коэффициент, характеризующий подвижность слоев сыпучего тела.

На рис 4.7 показана зависимость B_0 от x при различных значениях f_0 . Для данного сыпучего тела величина f_0 вполне определена, значение же коэффициента $\xi = \frac{f_m - f_0}{f_0}$ зависит от шероховатости сита, которая влияет на коэффициент сопротивления сдвигу нижнего слоя f_m .

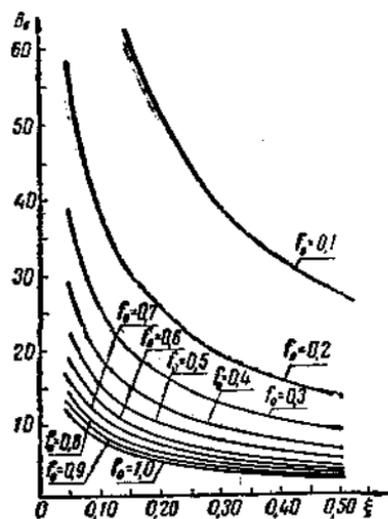


Рис. 4.7. Зависимости B_0 от ξ при значениях f_0

Структура формулы (4.41) указывает пути интенсификации процесса самосортирования, т.е. уменьшения времени осаждения t_0 :

- уменьшение частоты колебаний ω в пределах, обеспечивающих полойное движение во всем сыпучем теле, т.е. в области ускорений сита, превышающих второе критическое;

- уменьшение толщины (высоты) слоя H , влияющей на t_0 особенно сильно;

- увеличение сопротивления сдвигу нижнего слоя f_m .

Минимальное время осаждения t_0 , которое можно получить при критическом ускорении, определяется подстановкой в формулу (4.41) значения ω_c из формулы (4.33)

$$t_{0\min} = \frac{1}{\sqrt{R}} C_0 H^2 \rho_0 B_0 \sqrt{g f_0} \sqrt{1 + G \xi (1 + \xi)}, \quad (4.42)$$

что свидетельствует о целесообразности увеличения радиуса круговых колебаний сита R , если процесс происходит вблизи второго критического ускорения.

Если же $(R\omega^2) > (R\omega^2)_{кр2}$, то время осаждения не зависит от R , как это видно из формулы (4.41).

В области $(R\omega^2)_{кр1} < (R\omega^2) < (R\omega^2)_{кр2}$ рассчитывать t_0 по формуле (4.41) нельзя, так как полойное движение теоретически происходит лишь в верхних слоях.

Очевидно, что коэффициент C_0 , характеризующий сопротивление сыпучего материала погружению мелкой частицы, должен зависеть от отношения ее размеров с размерами окружающих частиц. Результаты опытов подтверждают это положение. По мере уменьшения среднего условного размера d_n проходовой частицы коэффициент C_0 уменьшается до определенного предела, после чего вновь увеличивается. Последнее обстоятельство можно объяснить увеличением сопротивления погружению частицы вследствие проявления сил молекулярного и электростатического притяжения, характерных для высокодисперсных частиц.

Заметим, что сохраняется общий характер зависимостей процесса самосортирования при различии частиц, как по крупности, так и по плотности, особенно в отношении влияния кинематических параметров.

В заключение отметим, что при массовом процессе самосортирования существенно проявляются черты стохастичности процесса вследствие вероятностного характера распределения проходных частиц по размерам и форме, а также случайного характера их взаимодействия с окружающими частицами. Поэтому значения t_0 и C_0 определяют как математическое ожидание соответствующих распределенных величин.

Теория движения частиц в наклонном воздушном потоке. В аспирационной части вейки наклонный воздушный поток (рис. 4.8) используется для разделения смеси частиц, отличающихся по аэродинамическим свойствам.

Воздушный поток в аспирационном канале засасывается вентилятором и в зоне полочек направляется под углом $20-35^\circ$ к горизонту. Смесь частиц пересекает поток, поступая из питающего устройства с некоторой начальной скоростью. Фракции отсепарированного продукта распределяются по длине аспирационного канала. Предполагается, что поток выровнен, направление и величина скорости воздуха постоянны, частицы движутся в потоке без столкновения. На зерновку массой m , поступившую в поток с начальной скоростью c_0 , действуют сила

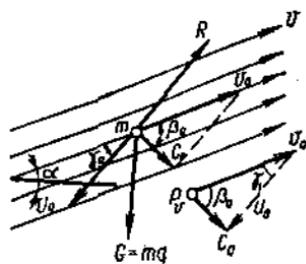


Рис. 4.8. Схема действия наклонного воздушного потока на частицу и план скоростей

тяжести $G = mg$ и сила сопротивления воздушного потока $R = \xi \frac{\rho}{2} F u_0^2$, пропорциональная квадрату относительной скорости.

Движение частицы можно рассмотреть как сложное, состоящее из переносного движения воздушного потока и относительного, тогда в начальный момент $\vec{c}_0 = \vec{v}_0 + \vec{u}_0$. Модуль относительной скорости можно определить из выражения

$$u_0 = \sqrt{v_0^2 + c_0^2 - 2v_0 c_0 \cos \beta_0}, \quad (4.43)$$

а направление скорости, определяемое углом к направлению воздушного потока γ_0 , из выражения

$$\sin \gamma_0 = \frac{c_0}{u_0} \sin \beta_0. \quad (4.44)$$

Чтобы представить относительное движение частицы и ее траекторию, выберем подвижную систему координат (перемещающуюся с переносным движением) с осями, направленными: Ox — вертикально вниз

и OY — горизонтально в сторону, противоположную потоку. Предположим, что траектория частицы (рис. 4.9) в относительном движении опишется кривой OA . Касательная к этой кривой определяет направление относительной скорости.

Исследования показали, что скорость частицы в относительном движении по величине и направлению приближается со временем к некоторому пределу. Направление предельной скорости вертикальное, поскольку в относительном движении частица оказывается под действием только силы тяжести.

Относительную и переносную скорости зерновки в точке A разложим по осям в подвижной системе координат XOY . Если траектория и закон изменения относительной скорости известны, то скорость и траекторию абсолютного движения можно определить из соотношений

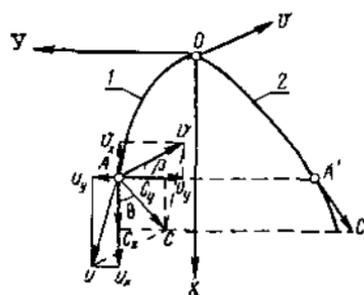


Рис. 4.9. Движение частицы в наклонном воздушном потоке:

1 — траектория относительного движения;
2 — траектория полного движения

$$c_x = u_x - v_x, \quad (4.45)$$

$$c_y = v_y - u_y \quad (4.46)$$

или

$$c_x = u_x - v \sin \beta, \quad (4.47)$$

$$c_y = v \cos \beta - u_y. \quad (4.48)$$

Направление абсолютной скорости частицы в точке A определится углом θ к вертикали

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{c_y}{c_x} = \frac{v \cos \beta - u_y}{u_x - v \sin \beta}. \quad (4.49)$$

С приближением относительной скорости к предельному значению

$$u_y \rightarrow 0 \text{ и } \operatorname{tg} \theta = \frac{v \cos \beta}{u - v \sin \beta}. \quad (4.50)$$

Эта зависимость показывает отклонения скорости частицы, а следовательно, и траектории и позволяет оценить рассеивание компонентов смеси в зависимости от скорости воздушного потока и относительной скорости частицы, которая прямо связана с аэродинамическими свойствами, и в первую очередь, со скоростью витания. Отклонение потока частиц будет увеличиваться с увеличением скорости воздушного потока и уменьшением относительной скорости, т.е. уменьшением скорости витания частиц.

Таким образом, пользуясь зависимостью (4.50), можно определить области рассеивания частиц с различными аэродинамическими свойствами и возможность их разделения.

Определим *скорость воздуха* на жалюзи. Частица на наклонной плоскости находится под воздействием следующих сил (рис. 4.10):

– силы тяжести G , которая может быть разложена на две составляющие ($G \cos \alpha$ — нормальную к поверхности и $G \sin \alpha$ — параллельную поверхности);

– силы трения F , возникающей под действием силы, нормальной к поверхности ($G \cos \alpha$);

– силы давления воздуха P .

При одновременном действии этих сил могут быть два случая:

1) $\alpha < \varphi$ — частица может двигаться только вверх;

2) $\alpha > \varphi$ — частица может двигаться и вверх и вниз.

Практический интерес представляет только второй случай.

При движении частицы вверх сила давления воздушного потока P преодолевает силы трения F и составляющую силы тяжести частицы $mg \sin \alpha$, поэтому движущая сила будет $P - (F + mg \sin \alpha)$.

Уравнение движения (по 2-му закону Ньютона)

$$m (d^2S/d\tau^2) = P - F - mg \sin \alpha = k_{\Pi} m v^2 - f mg \cos \alpha - mg \sin \alpha, \quad (4.51)$$

где k_{Π} — коэффициент парусности.

Сокращая на m , интегрируя и вынося g за скобки, получаем

$$dS/d\tau = g[(k_{\Pi}/g) v^2 - (f \cos \alpha + \sin \alpha)]\tau + c_1. \quad (4.52)$$

Интегрируя еще раз, получаем путь

$$S = (g/2)[(k_{\Pi}/g) v^2 - (f \cos \alpha + \sin \alpha)]\tau^2 + c_1\tau + c_2. \quad (4.53)$$

Из граничных условий $\tau = 0, S = 0$ и $dS/d\tau = 0$ найдем значения постоянных c_1 и c_2 , которые будут $c_1 = c_2 = 0$.

Следовательно

$$S = (g/2)[(k_{\Pi}/g) v^2 - (f \cos \alpha + \sin \alpha)]\tau^2, \quad (4.54)$$

но так как $f = \operatorname{tg} \varphi = \sin \varphi / \cos \varphi$, то

$$f \cos \alpha + \sin \alpha = (\sin \varphi / \cos \varphi) \cos \alpha + \sin \alpha = \sin(\alpha + \varphi) / \cos \varphi, \quad (4.55)$$

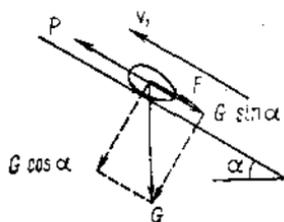


Рис. 4.10. Силы, действующие на частичку, находящуюся на наклонной плоскости жалюзи

и поэтому

$$S = (g/2)[(k_n/g) v^2 - \sin(\alpha + \varphi)/\cos\varphi]\tau^2. \quad (4.56)$$

Отсюда

$$t = 0,452 \sqrt{\frac{S}{(k_n/g)v^2 - \sin(\alpha + \varphi)/\cos\varphi}}. \quad (4.57)$$

Приравнивая к нулю скобку, можно найти скорость воздуха, при которой частичка остается в покое ($S = 0$)

$$(k_n/g) v^2 = \sin(\alpha + \varphi)/\cos\varphi, \quad (4.58)$$

и для случая движения частицы вверх (обозначим скорость v_1)

$$v_1 = \sqrt{\frac{g \sin(\alpha + \varphi)/\cos\varphi}{k_n}} = \sqrt{\frac{g}{k_n}} \sqrt{\frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos\varphi}} = v_{кр} \sqrt{\frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos\varphi}}. \quad (4.59)$$

Таким образом, чтобы частица двигалась вверх, рабочая скорость воздуха v_p должна быть больше v_1 .

В случае движения частицы вниз движущей силой является составляющая веса частицы, а сопротивлением — сила давления воздуха P и сила трения F , т.е. $mg \sin \alpha - (P + F)$.

Продельвая аналогичные преобразования, будем иметь

$$S_2 = (g/2)[(k_n/g) v_2^2 - \sin(\alpha - \varphi)/\cos\varphi]\tau^2, \quad (4.60)$$

$$t = 0,452 \sqrt{\frac{S}{(k_n/g)v_2^2 - \sin(\alpha - \varphi)/\cos\varphi}}, \quad (4.61)$$

$$v_2 = v_{кр} \sqrt{\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos\varphi}}. \quad (4.62)$$

Оценим эффективность сортировки рушанки по размеру перед ее обработкой воздухом. Для этого выразим

$$m = A_1 L^3 \quad \text{и} \quad F = A_2 L^2, \quad (4.63)$$

где A_1 и A_2 — постоянные; L — произвольный размер частицы.

Коэффициент парусности можно определить по уравнению

$$k_n = k_p F/m = (k_p A_2/A_1)(1/L), \quad (4.64)$$

тогда

$$v_1 = \sqrt{\frac{A_1 g}{k_p A_2}} \sqrt{L} \sqrt{\frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos\varphi}}, \quad (4.65)$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{A_1 g}{\kappa p A_2}} \sqrt{L} \sqrt{\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi}} \quad (4.66)$$

Видно, что необходимые скорости воздуха на жалюзи пропорциональны размерам частиц. Поэтому для лучшего разделения смеси, состоящей из частиц разных размеров, их необходимо сортировать по величине, что и выполняется на расसेве.

Машины для разделения хлопковой рушанки

Это оборудование подразделяют на машины для предварительного разделения хлопковой рушанки и машины для окончательного отделения ядра из хлопковой рушанки.

Сепаратор МХС. Для предварительного разделения хлопковой рушанки используют сепаратор МХС, который предназначен и для очистки хлопковых семян (см. гл. 2). При этом в конструкцию сепаратора внесены некоторые изменения:

- добавлен поддон к верхней ситовой раме, такой же, как и у нижней ситовой рамы;
- для разделения потока рушанки на два равных параллельных потока, подаваемых на верхнее и нижнее сита, в начале верхнего сита сделаны отверстия с клапанами;
- на обеих верхней и нижней ситовых рамах установлено по пять сит одинаковой длины с различными отверстиями, увеличивающимися от начала к концу сита (для разделения рушанки после первого шелушения рекомендуется устанавливать сита с круглыми отверстиями диаметрами 4, 5, 6, 7 и 8 мм).

С учетом внесенных конструктивных изменений машина МХС на операции предварительного разделения хлопковой рушанки работает следующим образом. Рушанка из шелушителя поступает одновременно на оба сита, причем на нижнее сито она поступает через отверстия с клапанами, находящимися в начале верхнего сита. Далее процесс разделения на обоих сотах происходит одинаково: получается сход, представляющий собой смесь шелухи, поляка и ядра, и проход — ядро с мелкой шелухой.

Производительность двойного встряхивателя МХС на операции разделения хлопковой рушанки — 120 т/сут. Кинематические режимы колебания сит на разделении рушанки остаются такими же, что и на очистке семян хлопчатника.

Биттер-сепаратор. Эта машина предназначена для окончательного отделения ядра из хлопковой рушанки (рис. 4.11), которая заключена в кожу и подвергается аспирации.

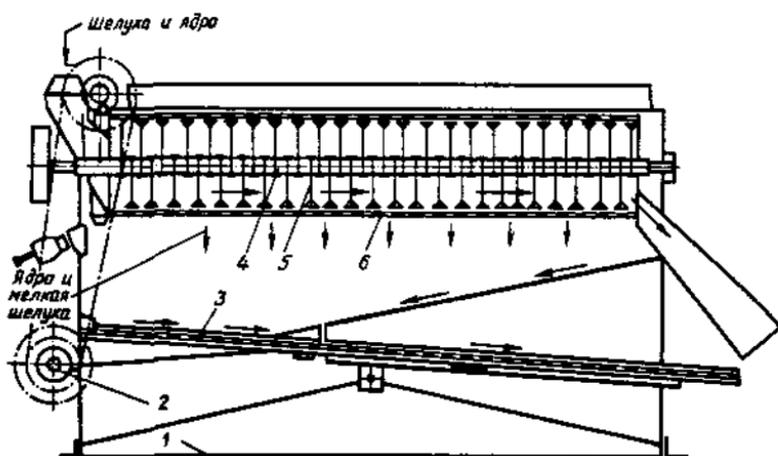


Рис. 4.11. Схема биттер-сепаратора

Машина состоит из двух частей: в первой части в двух параллельных медленно вращающихся перфорированных цилиндрических барабанах 6 с соосно расположенными в барабанах быстровращающимися валами 4 с билками 5 происходит выбивание ядра из разрезанных семян и шелухи, а во второй части на сотрясательном сите 3 происходит разделение ядра и шелухи.

Обе основные части машины смонтированы на общей раме 1. Главный вал машины 2 управляется индивидуальным электродвигателем, от которого полуперекрестной плюскоременной передачей движение передается бильным валам, а также валу червяков, через червячное колесо вращающих барабаны. Встряхивающее сито приводится в движение отдельно от двух эксцентриков.

Рушанку подают в оба барабана при помощи течки и заслонки-регулятора, что обеспечивает их одинаковую и равномерную загрузку. Внутри медленно вращающихся барабанов (2 об/мин), рушанка подвергается интенсивному воздействию бил, которые вращаются быстро вместе с бильными валами (200 об/мин), причем направление их вращения противоположно вращению барабанов. Горизонтальные барабаны имеют диаметр 528 мм и длину 2770 мм. Внешняя цилиндрическая поверхность обоих барабанов обтянута ситами, причем по длине барабана выделяют

ся три участка, различающиеся размерами отверстий сит, и эти размеры отверстий уменьшаются от начала к концу барабана. На первой части барабана установлены сита с отверстиями диаметром 5—6 мм, на средней — 4—5 мм, в конце — 3—4 мм. На барабаны насажены венцы червячных колес, которые входят в зацепление с червяками, приводимыми во вращение от главного вала машины. Удары бил высвобождают ядро из разрезанных на шелушителях хлопковых семян, и так как била имеют форму лопаточек, развернутых на угол 40° по отношению к оси вала, происходит транспортирование рушанки вдоль барабана. Отделенное ядро и мелкая шелуха идут проходом через отверстия сит барабанов и попадают на встряхивающее сито, а сходом из барабанов идет крупная шелуха.

Встряхивающее сито площадью 2,7 м², расположенное под барабанами, получает возвратно-поступательное движение от двух эксцентриков, сидящих на главном валу машины. Сито совершает 250 колебаний в минуту с амплитудой 36 мм, и для смягчения ударов, возникающих при работе сита, на главном валу установлены два шкива для привода бильных валов (и шкивы выполнены с противовесами). Особенностью сепарирования ядра и шелухи на встряхивающем сите является то, что частички шелухи благодаря подпушку сцепляются в комочки и идут сходом с сита далее в шнек шелухи. Ядро идет проходом и попадает на поддон, далее в шнек ядра.

Перед пуском биттер-сепаратора осматривают все элементы привода электродвигателя, ремней, червячных шестерен и червячного вала. Проверяют состояние подшипников, надежность крепления и чистоту сит барабанов, правильность натяжения тяг встряхивателя. После осмотра закрывают кожухом корпус биттер-сепаратора. Затем производят пуск машины на холостом ходу, и если все нормально, открывают шибер пи-

Техническая характеристика биттер-сепаратора

Производительность по семенам, т/сут	80
Частота вращения, об/мин:	
барабанов	2
бильных валов	200
эксцентрикового вала	250
Мощность электродвигателя, кВт	1,44
Сиговая поверхность, м ² :	
обоих барабанов	5,7
встряхивающего сита	2,7
Габаритные размеры, мм (длина × ширина × высота)	3895 × 1770 × 1935
Масса, кг	1820

тательной точки и регулируют рассекателем равномерное распределение рушанки между двумя барабанами.

Обслуживание биттер-сепаратора заключается в периодической (1–2 раза в смену) очистке ситовых поверхностей барабанов и встряхивателя. Следят также за подшипниками и электродвигателем.

Остановку машины начинают с перекрытия шибером питательной точки и после доработки рушанки, попавшей в биттер-сепаратор ранее, выключают электродвигатель.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение технологической операции разделения рушанки?
2. Как устроен и как работает рассев семеновойки?
3. Как устроена и как работает аспирационная вейка?
4. Каковы основные правила обслуживания семеновойки?
5. Каковы основные неполадки в работе семеновойки и меры по их устранению?
6. Какие изменения внесены в конструкцию сепаратора МХС с тем, чтобы его можно было использовать для предварительного разделения хлопковой рушанки?
7. Как устроен и работает биттер-сепаратор?
8. Каковы основные правила обслуживания биттер-сепаратора?

ГЛАВА 5.

МАШИНЫ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СЕМЯН И ЯДРА

Операция измельчения обеспечивает вскрытие клеточной структуры перерабатываемого масличного материала, что облегчает извлечение масла как прессованием, так и экстракцией. Глубина извлечения масла связана с полнотой вскрытия клеток.

Существуют различные способы измельчения ядра и семян: сжатие со сдвигом, истирание, удар, раздавливание. В машинах для измельчения, среди которых наиболее распространены вальцовые станки, реализуются названные выше способы измельчения с их различным сочетанием. Например, на валках преобладает раздавливание, но частично имеет место и сжатие со сдвигом и истирание.

Свойства материала, а именно влажность и лужистость, существенно влияют на качество измельчения. Ядро — сложное реологическое тело, упруго-вязкое; влажность его очень важна — с ее ростом упругость и прочность снижается (оптимальная влажность ядра для измельчения на вальцовых станках составляет 5,6—6%). Избыточное содержание в материале лужги, обладающей твердой структурой, ухудшает качество измельчения. Скорость нагружения также влияет — с ее увеличением уменьшается предел пропорциональности и предел прочности.

Конструкции вальцовых станков, применяемых для измельчения масличных материалов, различаются расположением валков (вертикальное, горизонтальное и диагональное). При этом валки могут быть различного диаметра, и поверхность их может быть гладкой или нарезной.

Вопросы теории и расчета вальцовых станков

Принцип измельчения ядра на валках заключается в особенностях взаимодействия частички с парой вращающихся навстречу друг другу валков. Во-первых, при достаточно малом относительном (k диаметру валка) размере частицы она втягивается в сужающийся зазор между валка-

ми. Во-вторых, частица, проходя сужающийся зазор, деформируется, и при достаточно больших усилиях сжатия валков это вызывает высокие напряжения в частице, превышающие предел прочности и вызывающие измельчение частицы.

Рассмотрим условие *прохождения частички между валками* (см. рис. 5.1).
Уравнение баланса сил, действующих на частичку

$$2P \sin \alpha = 2fP \cos \alpha. \quad (5.1)$$

Условие втягивания частички в зону измельчения

$$2P \sin \alpha < 2fP \cos \alpha. \quad (5.2)$$

Отсюда

$$f > \sin \alpha / \cos \alpha = \operatorname{tg} \alpha. \quad (5.3)$$

Так как $f = \operatorname{tg} \varphi$, то условие захвата

$$\operatorname{tg} \alpha < \operatorname{tg} \varphi, \quad (5.4)$$

или

$$\alpha < \varphi. \quad (5.4 \text{ б})$$

Практическое значение это условие имеет при *определении диаметра валков*. Из рис. 5.1 видно, что межцентровое

Рис. 5.1. К выводу уравнения, определяющего условия прохождения частички между валками

расстояние между валками

$$D + \delta = D \cos \alpha + d'. \quad (5.5)$$

Отсюда минимальный диаметр валка (м)

$$D = (d' - \delta) / (1 - \cos \alpha). \quad (5.6)$$

Так как угол α мал, то

$$d' = d \cos \alpha \approx d. \quad (5.7)$$

С учетом, что

$$1 - \cos \alpha = 2 \sin^2(\alpha/2), \quad (5.8)$$

получим

$$D = (d - \delta) / [2 \sin^2(\alpha/2)]. \quad (5.9)$$

Вводя коэффициент измельчения

$$k = d/\delta, \quad (5.10)$$

соответственно

$$\delta = d/k, \quad (5.11)$$

после подстановки получим

$$D = \frac{d - \frac{d}{k}}{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}} = \frac{d \frac{k-1}{k}}{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}. \quad (5.12)$$

С учетом условия захвата (5.4 б)

$$D > \frac{d \frac{k-1}{k}}{2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}}. \quad (5.13)$$

Обозначив

$$\lambda = 1/[2 \sin^2(\varphi/2)], \quad (5.14)$$

получим

$$D > \lambda[d(k-1)/k]. \quad (5.15)$$

Для угла трения мятки по гладкой поверхности валков $\varphi = 10 \dots 12^\circ$ и $\lambda = 65,8 \dots 45,5$. Для горизонтальных валков рекомендуется $\lambda = 60$, а для вертикальных $\lambda = 80$.

Расчет производительности вальцовых станков возможен на основе представления о движении материала в зазоре между двумя валками как листа толщиной δ (м) и шириной L (м) с линейной скоростью $v = \pi D n / 60$ (D — диаметр валка, м; n — число оборотов, об/мин)

$$Q = (\pi n / 60) D L \delta \rho C, \quad (5.16)$$

где Q — производительность, кг/с; ρ — объемная масса измельченного материала, кг/м³; $C = f$ (род материала, степень измельчения, конструкция машины).

Для вальцовых станков с нерегулируемым зазором (типа ВС-5) ряд величин (δ , ρ , C) трудно определяем, и поэтому их объединяют вместе с известными числовыми величинами $\pi/60$ в экспериментально определяемый коэффициент A (для семян подсолнечника $A = 0,0095$), и уравнение производительности принимает вид

$$Q = A D L n. \quad (5.17)$$

При определении путей интенсификации работы вальцов надо учитывать ограничения ряда следующих факторов на скорость вращения (n) валков:

- влияние центробежной силы ($v = 3,2$ м/с — предел, если больше, то происходит отрыв частиц от валка);
- влияние работы трения (она растет с n , переходит в тепло, увеличивает износ валков);
- влияние технологической схемы (тонкая прочная пластинка получается при пониженных n).

Степень измельчения изучалась экспериментально на вальцовом станке ВС-5 со свободно лежащими валками.

Установлена следующая зависимость размера частиц (средний диаметр d_q , м)

$$d_q = (0,987 + 0,0495z^2 - 0,426z + 0,395q) 10^{-3}, \quad (5.18)$$

где $q = Q/L$ — удельная (на единицу длины валька) производительность вальцов, кг/(с · м); z — номер вальцовой пары в последовательности проходов на станке.

Энергетические характеристики работы вальцового станка можно определить на основе теории прокатки порошкообразных материалов.

Удельное давление на измельчаемый материал в зоне прокатки описывается выражением вида:

$$P_x = P_{\max} \left(\frac{h_n}{h_x} \right)^{\frac{f}{\varphi}}, \quad (5.19)$$

где P_x — распределение контактного нормального напряжения в измельчаемом материале в зоне прокатки вплоть до выхода измельченного материала, кг/мм²; P_{\max} — максимальное контактное нормальное напряжение, кг/мм²; h_n — толщина прокатки (приблизительно равна размеру измельченных частиц), мм; h_x — переменная величина зазора между парой валков в зоне прокатки, мм; f — коэффициент внешнего трения материала по металлу; $\varphi = (\alpha_p + \gamma)/2$ — угол наклона хорды к направлению прокатки;

$\alpha_p = \sqrt{\frac{h_n}{2}(\varepsilon - 1)}$ — угол прокатки при измельчении; γ — угол нейтрального сечения (этот угол при измельчении мал: $\gamma = 0,1\alpha_p$); $\varepsilon = h_p/h_n$ — коэффициент спрессовывания (для измельчения $\varepsilon = d_w/d_k$); h_p — ширина захватываемого материала в начале зоны прокатки, мм; $R = D/2$ — радиус валька, мм.

Максимальное контактное напряжение может быть определено по уравнению:

$$P_{\max} = \frac{G}{L \left[\frac{h_n - h_p \varepsilon^{\frac{f}{\varphi}}}{2(f - \varphi)} + \frac{Rh_n(\gamma + \alpha_p)}{h_n + fR(\gamma + \alpha_p)} \right]}, \quad (5.20)$$

где G — сила, действующая в зоне измельчения (для случая станка со свободно лежащими вальками это вес вышерасположенных валков, для случая станка с регулируемым зазором это сила упругости системы фиксации валков при соответствующей деформации), кг; L — длина валька, мм; $\alpha_{сж}$ — угол сжатия (для измельчения $\alpha_{сж} \approx 0$).

Для расчета коэффициента внешнего трения маслянистого материала по металлу с учетом скорости скольжения предложена зависимость:

$$f = f_0 + 0,8Pv^{0,8}, \quad (5.21)$$

где $f_0 = 0,05 + (5,6 \cdot 10^{-3} + 1,2 \cdot 10^{-4} L)P$ — коэффициент трения в статике; P — давление, МПа; $v = (\pi Dn/60) - (Q/Ld_p)$ — скорость скольжения

частиц измельчаемого материала в зазоре вальцевой пары, м/с; L — лужистость масличного материала, %.

Среднее давление на частицу при прохождении между валками определяется интегрированием соотношения (5.19) в определенном диапазоне изменения размера частиц

$$\bar{P} = \frac{1}{d_n - d_k} \int_{d_k}^{d_n} P_x dh, \quad (5.22)$$

Определив среднее давление, можно рассчитать момент на измельчающем валке и мощность на измельчение.

Момент прокатки ($N \cdot м$) как при двух приводных валках, так и при одноприводном, определяется по формуле

$$M_{np} = \bar{P} D \psi \alpha_p, \quad (5.23)$$

где $\psi = 0,33 + (\gamma - \alpha_{сж})/3\alpha_p$ — коэффициент плеча момента прокатки.

Мощность (Вт) связана с моментом соотношением

$$N = M_{np} 2\pi n, \quad (5.24)$$

где n — частота вращения валка, c^{-1} .

Для расчета мощности станка ВС-5 моменты определяются по валкам:

$$M_{np}^I = \bar{P}_I D \psi_I \alpha_{pI}, \quad (5.25)$$

$$M_{np}^{II} = f(\bar{P}_I D \psi_I \alpha_{pI} + \bar{P}_{II} D \psi_{II} \alpha_{pII}), \quad (5.26)$$

$$M_{np}^{III} = \bar{P}_{III} D \psi_{III} \alpha_{pIII} + \bar{P}_{II} D \psi_{II} \alpha_{pII}, \quad (5.27)$$

$$M_{np}^{IV} = f(\bar{P}_{III} D \psi_{III} \alpha_{pIII} + \bar{P}_{IV} D \psi_{IV} \alpha_{pIV}), \quad (5.28)$$

$$M_{np}^V = \bar{P}_{IV} D \psi_{IV} \alpha_{pIV}. \quad (5.29)$$

Расчет мощности определяют для каждого валка по формуле (5.24), а затем суммируют.

Анализ показывает значительное влияние диаметра валка на мощность. Поэтому при проектировании вальцовых станков следует выбирать наименьший возможный диаметр. Потребная расчетная мощность растет также с увеличением частоты вращения валков.

Вальцовый станок ВС-5

Наиболее распространенным вальцовым станком на маслозаводах является пятивалковый вальцовый станок ВС-5 (рис. 5.2).

Основные рабочие органы станка ВС-5 — пять валков 3 из отбеленного чугуна диаметром 400 и длиной 1250 мм. Каждый валок представ-

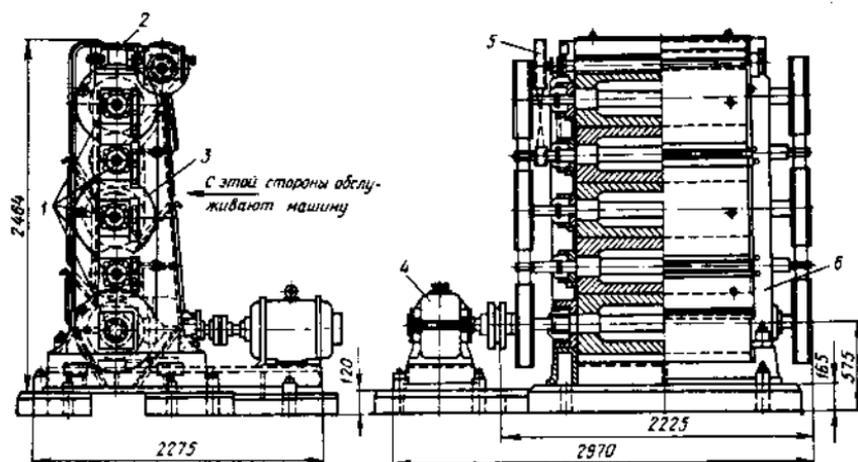


Рис. 5.2. Пятивалцовый станок ВС-5

ляет собой пустотелый цилиндр, по оси которого запрессовывается стальной вал. Надежность соединения чугунного валка и стального вала, исключая возможное их проворачивание друг относительно друга, обеспечивается дополнительно к прессовому соединению установкой на валу шпонки. На обоих концах вала установлены подшипники качения. Выбор подшипников (двухрядных сферических на конической втулке) продиктован условиями работы. При работе валки лежат один на другом свободно, и при прохождении материала в зазоре между ними происходит раздвигание валков. Возможно также отклонение оси валка от строго горизонтального положения. Положение нижнего валка (приводного) фиксировано. Каждый валок воспринимает массу всех вышележащих валков, и максимально нагружен нижний валок. Поэтому его оси установлены в двухрядных роликовых подшипниках.

Корпуса подшипников 1, называемые буксами, имеют форму торца, близкую к квадратной. Боковыми поверхностями корпуса подшипников входят в направляющие вертикальных стоек б станка. Четыре чугунные стойки крепятся болтами на массивной чугунной плите. Таким образом, подвижность осей верхних четырех валков в вертикальном направлении обеспечивается возможностью скольжения корпусов подшипников в направляющих стоек. Особенностью установки валков является расположение центров их осей не строго по одной вертикали, а со смещением в сторону на небольшую величину (10—12 мм). Для этого с одной стороны буксы снимают слой металла, а на другую сторону накладывают пластину соответствующей толщины. Направление смещения для каждого вал-

ка меняют последовательно. Такая установка валков обеспечивает их более плавную работу и улучшает захват валками измельчаемых частиц.

Обычно верхние два валка делают рифлеными, а остальные три нижних — гладкими. Рифли имеют глубину 1,5 мм при восьми нитках на один дюйм и при угле по отношению к образующей валка 9° . Рифленые участки поверхности валка чередуют с гладкими, что позволяет исключить вибрации рифленой пары при работе. При эксплуатации следует уделять особое внимание состоянию поверхности валков. Для этого валки раз в 2—4 месяца подвергают шлифовке на специальном станке. При этом надо достичь строго цилиндрической формы валков, так чтобы в станке в собранном виде местный зазор между смежными валками не превышал 0,06—0,09 мм.

Вращение передается валкам от индивидуального электродвигателя через муфту и двухступенчатый редуктор 4 с передаточным числом 6,4. Вращение от редуктора через муфту передается на нижний валок, и от него при помощи плоскоременной передачи вращение передается третьему (среднему) и пятому (верхнему) валкам. Второй и четвертый валки вращаются за счет трения с принудительно вращаемыми первым, третьим и пятым валками. При этом частота вращения первого, третьего и пятого валков составляет 150 об/мин, а неприводные валки — второй и четвертый — за счет проскальзывания вращаются на 3—5 об/мин медленнее.

На валу четвертого валка имеется шкив, от которого при помощи перекрестной ременной передачи вращение передается на ось питающего валика 5. Включение вращения валика производится с помощью рычажного механизма, приводящего в зацепление кулачковую муфту.

Питающий валик — одна из основных частей питающего устройства, расположенного в верхней части станка. Четыре стойки станка в верхней части крепятся между собой. Правые стойки соединены с левыми стойками в верхней, средней и нижней частях стяжными болтами. Передние стойки соединены с задними с помощью вставок 2. Питательный бункер, состоящий из передней и задней стенок, смонтирован в верхней части передних стоек. Боковыми стенками питательного бункера являются верхние части передних стоек. Внутри питательного бункера расположен питающий валик, установленный на шарикоподшипниках, с регулируемым винтами шибером. Ширина щели между питающим валиком и шибером регулируется двумя винтами, что может привести к перекосу шибера и, соответственно, к неравномерной подаче материала и снижению качества помола на станке.

Направление движения потока измельчаемого материала в станке производится с помощью щитов 1—4 и ножей 5—9; расположение относительно валков I—V показано на схеме (рис. 5.3).

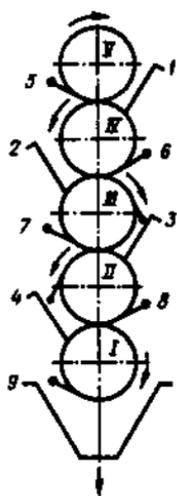


Рис. 5.3. Схема расположения щитов и ножей

Ядро или семена, направляемые на измельчение, вначале попадают в питательный бункер. Из бункера при работающем питающем валике через щель между валиком и шибером материал широкой тонкой лентой поступает на щит и по его поверхности скользит в зазор между двумя верхними валками.

Направляющие щиты изготавливают из листовой стали толщиной 4—6 мм, которые вставляют в пазы на стойках станка. Верхняя пара валков нарезная, и это обеспечивает захват вращающимися валками самых крупных частиц масличного материала, подаваемого на измельчение. После первого прохода между валками материал попадает на второй щит, направляющий его на второй проход между четвертым и третьим валками. Далее последовательно материал, направляемый щитами, проходит между третьим и вторым и в конце между вторым и первым валками. После этого измельченный масличный материал, называемый мяткой, попадает в сборный шнек.

При работе вальцового станка к поверхности валков прилипает измельченный материал, что нарушает нормальную работу станка. Поэтому в вальцовке для очистки поверхности валков предусмотрены ножи, которые представляют собой чугунное тело каплеобразного сечения, насаженное на ось эксцентрично, что обеспечивает постоянное прижатие ножей к поверхности валков. Установку ножей проверяют перед пуском в работу, и при необходимости их выставляют в нужном положении.

В случае попадания в измельчаемый материал инородных твердых предметов свободно лежащие один на другом валки могут раздвинуться и пропустить предмет. Самый верхний (пятый) валок прижимается пружинами, которые упираются во вставки, соединяющие верхние части передних и задних стоек. Сила нажатия пружины на валок мала по сравнению с его массой.

При эксплуатации вальцового станка, в частности при его пуске, оператор должен:

- проверить крепление болтами фундаментной плиты и четырех стоек;
- проверить наличие смазки во всех подшипниковых узлах;
- установить в рабочее положение все щиты и ножи, а также закрыть ограждением валки;
- надеть ремни на шкивы валков и питающего валика, закрыть передачи ограждениями, убрать от станка инструмент и посторонние предметы;

— пустить станок на холостом ходу и убедиться, что он работает спокойно, без вибраций и стука, подшипники не греются и из них не вытекает смазка, ремни не сбегают со шкивов, щиты и ножи хорошо пригнаны к валкам, электродвигатель и редуктор не перегреваются и работают нормально.

Все выявленные неполадки вызывают необходимость остановки станка, выявления причин и устранения дефектов. Повторный пуск и нормальная работа станка на холостом ходу в течение 0,5 ч достаточны для перехода к пуску станка под нагрузкой.

Оператор при работе на вальцовом станке должен следить за следующими параметрами:

— равномерностью распределения измельчаемого материала по всей ширине рабочей зоны;

— нормальной нагрузкой станка по амперметру, и визуально — по накоплению материала перед межвалковым зазором (временные перегрузки устраняют отключением питающего валика, выводя из зацепления кулачковую муфту, а общее снижение нагрузки производят уменьшением зазора между питающим валиком и регулируемым шибером);

— нормальной работой всех механических узлов станка, которые периодически проверяются на холостом ходу (в случае неполадок немедленно прекращают подачу материала на станок и после выработки материала отключают электродвигатель).

Часто выполняемая операция по демонтажу и монтажу валков, в связи с периодической их шлифовкой в станке ВС-5, не требует выемки вместе с данным валком всех вышележащих валков. Для этого перед демонтажем все валки закрепляют болтами, имеющимися в буксах и выходящими через прорезь наружу задних стоек. После этого передние стойки свободно снимают путем отвинчивания нижних крепежных болтов. Таким образом открывается доступ к любому из валков, и его выемка из станка производится независимо от других валков. Учитывая большую массу валков (850—900 кг), при их демонтаже, транспортировке и монтаже применяют специальные приспособления (монорельс с тельфером, специальные тележки).

Техническая характеристика пятивалкового вальцового станка ВС-5

Производительность, т семян в сутки	60
Проход мятки через 1-миллиметровое сито, %	60
Мощность электродвигателя, кВт (при частоте вращения 1460 об/мин)	30
Масса машины с двигателем, кг	9743
Габаритные размеры, мм	3530 × 1330 × 2300

Вальцовый станок Б6-МВА

В настоящее время вместо пятивалкового станка ВС-5 выпускают вальцовый станок Б6-МВА, конструкция которого (рис. 5.4) содержит следующие основные составные части:

- станина, состоящая из плиты основания 8 и колонн 9 и 10, предназначенная для установки основных узлов станка;
- питатель 12, который предназначен для подачи и равномерного распределения по всей длине первого межвалкового прохода поступающего на измельчение ядра масличных семян;
- механизмы рабочих органов, предназначенные для измельчения ядра масличных семян и состоящие из четырех расположенных один под другим валков 2 диаметром 400 мм и рабочей длиной 1250 мм с подшипниками, направляющих листов 3, скребков 4, механизма регулирования межвалкового зазора 5, пружинного устройства 11;
- привод, состоящий из двух электродвигателей 1 (левого и правого), натяжное устройство 6 и поликлиновые ремни 7.

Передачи и вращающиеся валки закрывают ограждениями, что является элементом техники безопасности работы на станке.

Вальцовый станок работает следующим образом. Масличный материал, подаваемый на измельчение, валковым питателем диаметром 120 мм и длиной 1230 мм, вращающимся с частотой 68,7 об/мин, распределяется на направляющий лист первого межвалкового прохода.

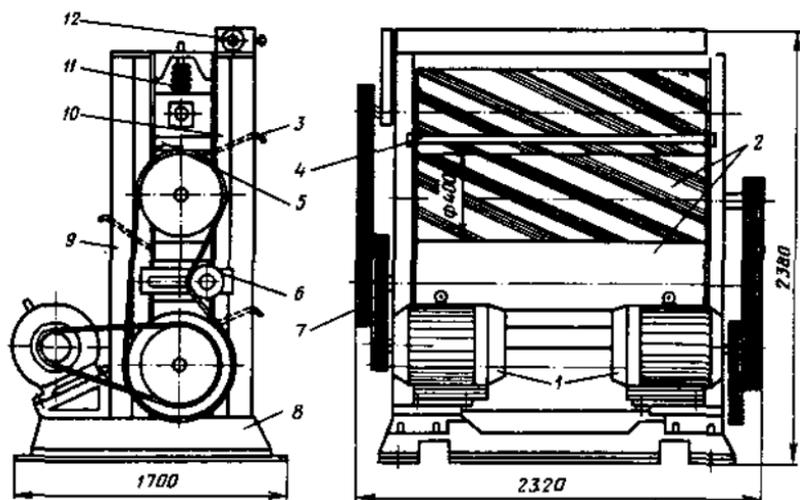


Рис. 5.4. Вальцовый станок Б6-МВА

Первая (верхняя) пара валков выполнена рифленой и имеет дифференциал частот вращения валков (1-й верхний валок 229 об/мин, 2-й валок — 239 об/мин), что позволяет эффективно проводить предварительное измельчение исходного масличного материала.

Дальнейшее измельчение производят при прохождении материалом последовательно межвалковых зазоров второго и третьего проходов. Нижние два валка гладкие, вращаются с одинаковой частотой (244 об/мин). Величину рабочих межвалковых зазоров можно регулировать при помощи клинового механизма, расположенного между корпусами подшипников валков. Принята последовательно уменьшающаяся величина межвалкового зазора по ходу движения материала в станке.

Налипающий на валки продукт счищают специальными скребками. Измельченный продукт (мятку) после последнего (третьего) прохода с помощью двух направляющих щитков выводят из станка. Особенности эксплуатации станка заключаются в следующем. Для управления станком имеется специальный пульт. При пуске станка последовательно включают питание пульта управления, затем включают электродвигатели станка, и после этого включают подачу семян, отрегулировав с помощью питателя поступление их из бункера равномерным потоком по всей длине валка. Остановку станка производят в обратном порядке.

Обязательным при работе станка является наличие крепления ограждений, находящихся в исправном техническом состоянии.

Техническая характеристика вальцового станка Б6-МВА

Производительность по семенам подсолнечника, т/сут	100
Проход мятки через сито \varnothing 1 мм, %, не менее	60
Мощность электродвигателя 2х15, кВт	30
Масса машины, кг	7080
Занимаемая площадь, м ²	4,1
Габаритные размеры, мм	2322 × 1700 × 2395

Контрольные вопросы

1. Каково назначение технологической операции измельчения масличного материала?
2. Какие способы измельчения известны, и каков механизм измельчения на валках?
3. Каково устройство вальцового станка ВС-5?
4. Как происходит процесс измельчения на пятивалковом станке?
5. Как осуществляется пуск вальцового станка?
6. В чем заключается обслуживание вальцового станка?
7. Какие ремонтные работы проводят на вальцовом станке?
8. Каково устройство вальцового станка Б6-МВА?

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАСЛА ПРЕССОВАНИЕМ

Влаготепловая обработка (жарение) — это операция кондиционирования по влажности и температуре измельченного масляного материала (мятки) перед извлечением масла прессованием. Получаемый материал называется мезга. На рис. III.1 показана принципиальная аппаратная схема прессового участка производства растительных масел.

Транспортными элементами (шнековые транспортеры, нории) мятку из-под вальцов подают в пропарочно-увлажнительный шнек 1. Отсюда нагретую и увлажненную мятку направляют в чанную жаровню 2, где завершается влаготепловая обработка мятки и получается мезга.

Таким образом, выходящая из жаровни мезга поступает в шнековые

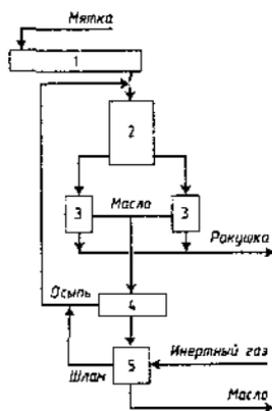


Рис. III.1. Аппаратурная схема прессового цеха:

- 1 — пропарочно-увлажнительный шнек; 2 — чанная жаровня; 3 — прессы; 4 — гущеловушка; 5 — фильтр

прессы 3 для съема масла. Прошедшая через пресс мезга частично обезжиривается, масло стекает в поддон, а выходящий твердый материал с оставшимся маслом, называемый форпрессовой ракушкой, или жмыхом, после подготовки направляют для дальнейшей переработки с целью окончательного извлечения масла, как правило, экстракцией.

Вместе с маслом из прессы выходит некоторое количество твердой фазы в виде дисперсных частиц, которые называют осыпью. Это обуславливает необходимость очистки прессового масла от механических примесей и возврата осыпи в жаровню.

Очистку масла проводят в две стадии: на 1-ой методом отстаивания отделяют крупные частицы, для этого применяют гущеловушки 4, на 2-ой стадии отделяют оставшиеся частицы на фильтрах 5. Полученное масло выводят из цеха.

ГЛАВА 6.

АППАРАТЫ ДЛЯ ВЛАГОТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ МЯТКИ

Операция влаготепловой обработки (жарение) включает два этапа:

1-ый — увлажнение капельной влагой или водяным паром (возможно и совместное применение пароводяной смеси) до заданной величины;

2-ой — последующая сушка перемешиваемого слоя материала при кондуктивном теплоподводе до заданной влажности и температуры, оптимальных для отжима масла (при этом происходит формирование внутренней и внешней структуры мезги, ослабление связи масла с материалом и физические изменения масла, в частности, снижение вязкости).

Наиболее распространенными аппаратами для осуществления операции влаготепловой обработки мятки являются чанные жаровни, в которых в верхнем чане проводится этап увлажнения (1-ый этап), а во всех последующих чанах — т. н. сушка (2-ой этап). В последнее время выявилась тенденция для отдельных этапов влаготепловой обработки применять отдельный аппарат. Так, для увлажнения используют пропарочно-увлажнительные шнеки, а для сушки — чанные жаровни. Такая специализация аппаратов вызвана спецификой отдельных этапов влаготепловой обработки и, прежде всего, дополнительным требованием к этапу увлажнения — обеспечить инактивацию ферментной системы в мятке, что приводит к подавлению нежелательных процессов накопления в масле негидратируемых фосфатидов и свободных жирных кислот. Инактивацию осуществляют путем кратковременного подогрева мятки острым паром до температуры 80—85°C и увлажнения мятки до 8—9%.

Инактиватор

Аппарат, реализующий указанные режимы инактивации и устанавливаемый с учетом работы его с несколькими чанными жаровнями, называют групповым инактиватором (рис. 6.1). Устанавливают инактиватор под распределительным шнеком перед чанными жаровнями форпрессовых агрегатов.

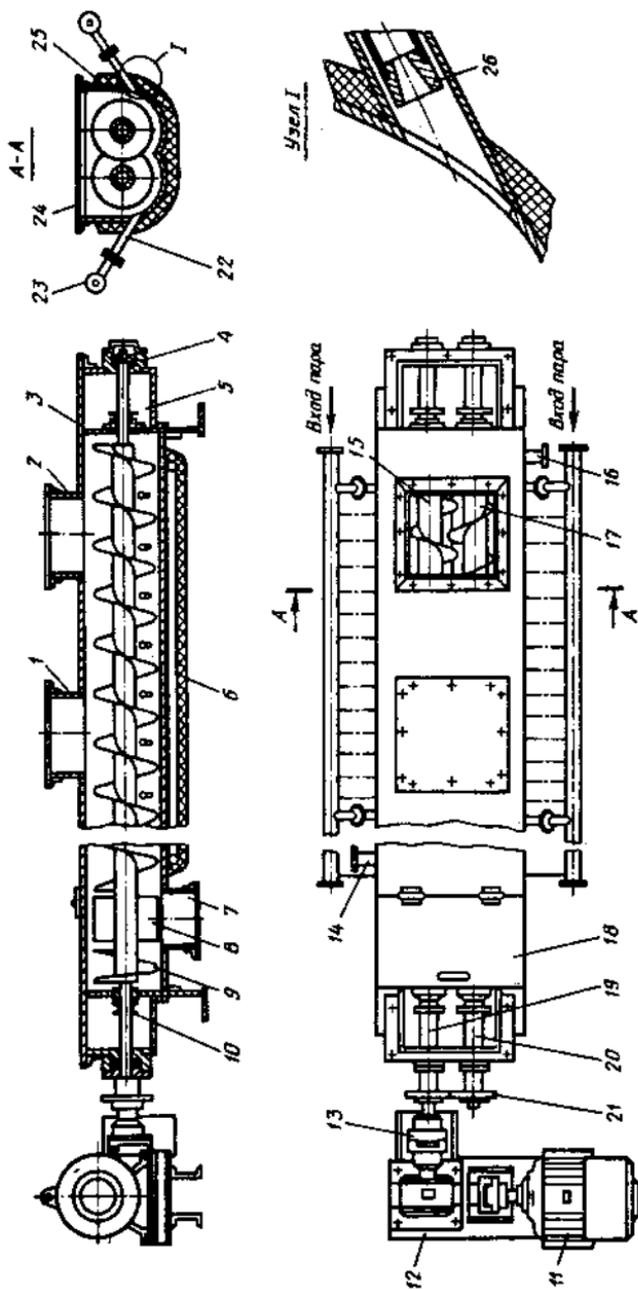


Рис. 6.1. Групповой шнековый инактиватор (пропарочно-увлажнительный шнек)

Основное требование к конструкции инактиваторов — обеспечить транспортирование налипающей на рабочие органы мятки. Это обеспечивается применением спаренных шнеков 15, 17 с противоположной навивкой, вращающихся в противоположном направлении и находящихся в зацеплении. При работе таких шнеков имеется эффект самоочистки перьев шнека от налипающего материала.

Корпус группового шнекового инактиватора представляет собой спаренный желоб 25 сварной конструкции. Два шнека описанной конструкции расположены в желобе. Каждый из шнеков покоится на двух концевых подшипниках 4, вынесенных из рабочей зоны. Валы шнеков в местах входа и выхода из рабочей зоны проходят через сальниковые уплотнения 5, 10. Для подачи в обрабатываемую в инактиваторе мятку острого пара в корпусе (в нижней части желоба) установлены форсунки 22 с соплами 26. Врезку форсунок производят наклонно под углом 60° к горизонту, что обеспечивает интенсивный контакт обрабатываемых фаз и затрудняет забивание форсунок. Форсунки устанавливаются с обеих сторон желоба, и группа форсунок с каждой стороны объединена общим коллектором 23. Сопла в узком сечении имеют диаметр 5 мм и конический расширяющийся переход на диаметр 10 мм, что обеспечивает бесперебойную работу форсунок. При работе форсунок давление пара перед ними поддерживается 0,2—0,25 МПа.

На верхней крышке инактиватора 24 имеется патрубок 2 для подачи исходной мятки. Второй патрубок 1 на крышке инактиватора предназначен для удаления избытка паров из рабочей зоны инактиватора. С другого конца инактиватора по отношению к входу мятки в днище желоба имеется патрубок 7 для выпуска обработанной мятки. На шнековом валу в месте выхода материала установлены разгрузочные крыльчатки 8, а за ними — шнек с обратной навивкой 9. Предусмотрен обогрев желоба. Для этого к наружной поверхности желоба крепятся паровые трубы 6 с патрубками для подвода пара 16 и отвода конденсата 14. Все трубы и нижняя обогреваемая часть инактиватора изолированы.

Шнеки приводятся во вращение от электродвигателя 11 через редуктор 12 и муфту 13. Собственно, приводится во вращение непосредственно один из шнеков, а второй синхронно вращается с той же частотой, но в обратном направлении через зубчатую пару 21.

При работе мятка подается в инактиватор через патрубок на верхней крышке инактиватора и транспортируется к выходу из аппарата парой синхронно вращающихся шнеков. При этом на всем пути движения мятка обрабатывается струями острого водяного пара, выходящими из форсунок с соплами, расположенными в ряд с обеих сторон желоба. Важно обеспечить равномерное пропаривание мятки в результате равномерной подачи и транспортирования мятки, а также равномерного и непрерыв-

ного поступления пара через форсунки. Количество пара можно регулировать с помощью вентиля, и в случае изменения подачи мятки в аппарат соответственно изменяют подачу пара. В целом требуемой температуры (80—85°C) и влажности (8—9%) мятки без увлажнения капельной влагой достигают путем строгого контроля за параметрами пара, не допуская снижения его температуры ниже 180—200°C, а также подачей материала влажностью не выше 7—8% и нормальной температурой (25—30°C).

При работе группового инактиватора надо соблюдать следующие правила техники безопасности:

- не допускать работы инактиватора со снятой верхней крышкой, а также без установки ограждений вращающихся внешних частей аппарата (муфт и т.д.);

- изолировать поверхности паропроводов;

- обеспечивать своевременную зачистку аппарата (всю внутреннюю часть и форсунки) от налипшего или пригоревшего материала — при остановке завода на профилактический ремонт.

В настоящее время разработаны конструкции групповых инактиваторов на различную производительность; их техническая характеристика приведена ниже.

Техническая характеристика инактиваторов

Показатель	Производительность, т семян в сутки			
	100	200	400	600
Габаритные размеры, мм:				
длина	3000	4150	4700	5170
ширина	800	965	900	1040
высота	400	540	600	780
Масса, кг	546	750	1320	1516
Количество форсунок, шт.	10	16	30	40
Продолжительность прогрева мятки, с	15	16	15	14
Частота вращения шнеков, об/мин	45	46	61	62
Мощность электродвигателя, кВт	1	2,8	2,8	5,2
Передаточное отношение червячного редуктора	20,5	20,49	15,5	23,34

Для реализации первого этапа жарения применяют также более простые по конструкции пропарочно-увлажнительные шнеки (рис. 6.2, 6.3). За основу принят обычный транспортный шнек, к которому подведены пар и конденсат так, что их можно подавать отдельно или в смеси. Подача пара и конденсата возможна через отверстия в трубах-распределителях или через щель.

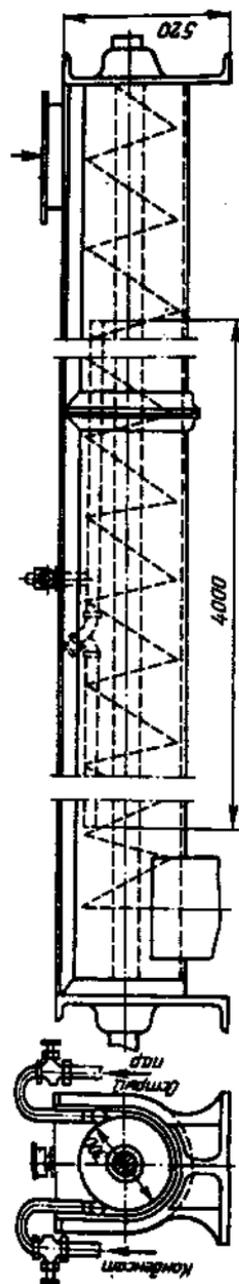


Рис. 6.2. Пропорочно-увлажнительный шнек с подачей пара и конденсата через отверстия в трубе

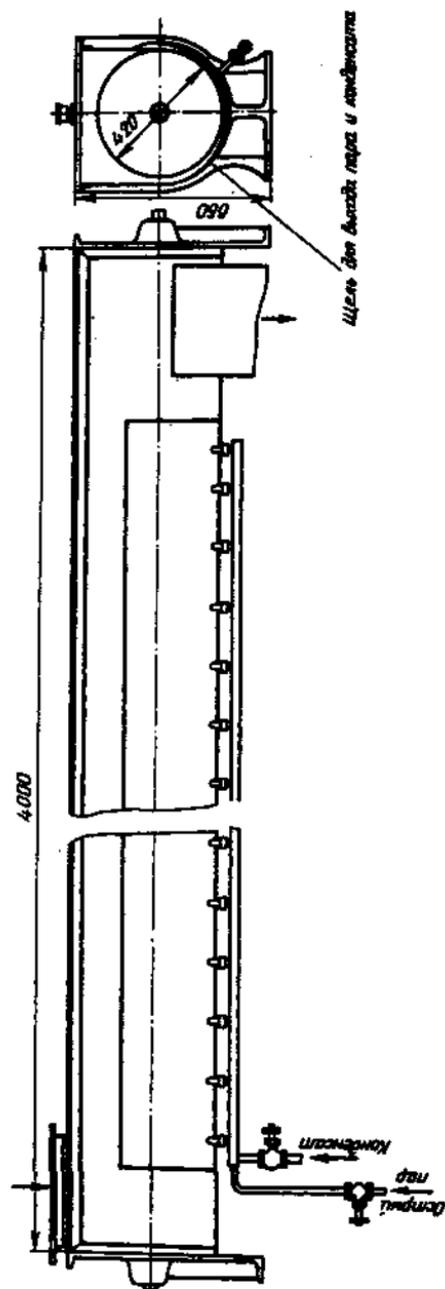


Рис. 6.3. Пропорочно-увлажнительный шнек с подачей пара и конденсата через шель

Чанная жаровня

Повсеместно распространенным аппаратом для проведения операции влаготепловой обработки мятки, и особенно второго этапа жарения (сушки), является чанная жаровня (рис. 6.4).

Хотя в настоящее время для оснащения высокопроизводительных шнековых прессов стали применяться чанные жаровни с большим диаметром чана и большим числом чанов (до семи), в конструкции чанных жаровен нет принципиальных изменений, поэтому рассмотрим конструкцию наиболее распространенной шестичанной жаровни.

Основным элементом жаровни являются чаны, в которых можно организовать проведение обоих этапов процесса жарения. Учитывая разновременность протекания во времени этапов жарений, обычно выделяют для этапа увлажнения один верхний чан, а для этапа сушки — все остальные чаны.

Чаны бывают разной конструкции — чугунные литые, стальные сварные.

Основными частями чана являются днище 1 и обечайка 2 (рис. 6.5). Кондуктивный теплоподвод к обрабатываемому в чане материалу через стенки чана производится от конденсирующегося в рубашке водяного пара. В чугунных литых конструкциях чана рубашка расположена в пустотелом днище. Стальная сварная конструкция чана позволяет сделать рубашки 3 как в днище, так и в обечайке.

При конструировании обечайки надо учитывать, что пар, подаваемый в них, имеет давление до 0,7 МПа, а деформации стенок, особенно днищ, из-за необходимости обеспечения наименьшего зазора между ними и мешалкой 6 на валу 5, должны быть минимальными. При чугунном днище толстые стенки и перемычки между верхней и нижней

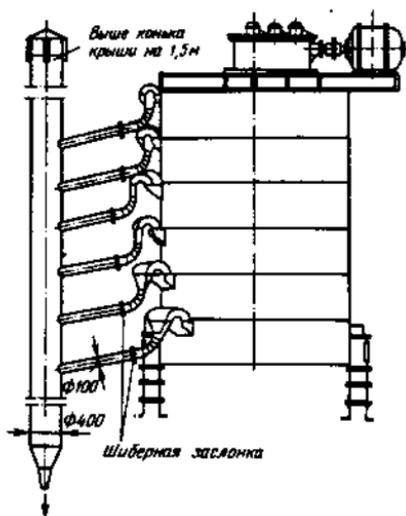


Рис. 6.4. Чанная жаровня

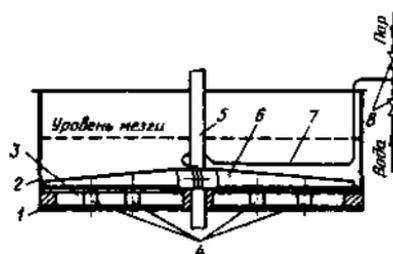


Рис. 6.5. Чан жаровни

частями днища обеспечивают жесткость конструкции. Сварное стальное днище изготавливают из двух дисков (верхнего и нижнего), и жесткость конструкции обеспечивается установкой анкерных связей 4 по всей площади днища с шагом 250—300 мм.

Для перепуска материала из чана в днищах предусмотрены перепускные отверстия размером 350 × 350 мм. Автоматический перепуск с поддержанием заданного уровня материала в чанах обеспечивается перепускными клапанами различного типа (рис. 6.6).

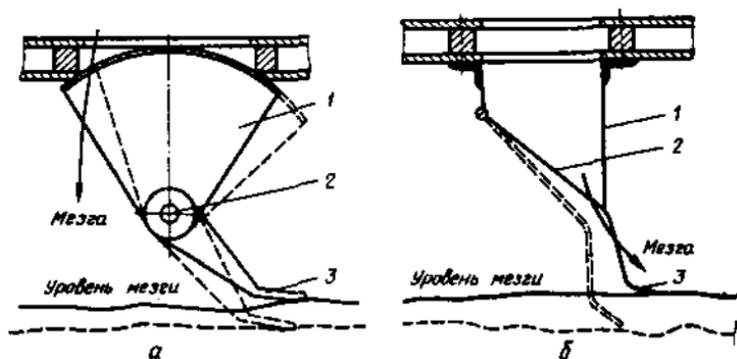


Рис. 6.6. Автоматические перепускные клапаны
(а — секторный перепускной клапан; б — перепускной клапан Линка)

При секторном перепуске (рис. 6.6 а) сектор 1 с частью цилиндрической поверхности, перекрывающей квадратное перепускное отверстие, соединен в единое целое с хвостовиком 3, в рабочем положении опирающимся на слой материала в нижерасположенном чане. В месте соединения сектора и хвостовика расположены втулки. Через них проходит ось 2, вокруг которой возможно поворачивание секторного перепуска.

При работе (в случае достаточной высоты слоя материала в нижерасположенном чане) хвостовик секторного перепуска, опираясь на поверхность слоя, занимает такое положение, что жестко связанный с ним сектор перекрывает полностью перепускное отверстие.

При понижении уровня материала в нижерасположенном чане в результате перепуска части материала в последующий чан хвостовик, опирающийся на поверхность материала, вынужден опуститься, а это возможно лишь в случае поворота его вместе с сектором вокруг оси. При этом сектор уже не перекрывает полностью перепускное отверстие. Появляется щель, через которую материал из вышерасположенного чана пересыпается в нижерасположенный, и уровень там повышается с соот-

ветствующим подъемом хвостовика и поворотом сектора в обратном направлении. При достижении требуемой высоты слоя сектор, повернувшись, полностью перекрывает перепускное отверстие, и пересыпание материала прекращается.

Принцип работы перепускного клапана Линка (рис. 6.6 б) тот же, но конструкция его отличается от конструкции секторного перепускного клапана (рис. 6.6 а). Под квадратным перепускным отверстием в днище укреплен такого же сечения короб 1 со скошенным дном, которое прикрывается закрепленным на шарнире днищем 2 с хвостовиком 3. Хвостовик опирается на поверхность слоя материала в нижерасположенном чане. Как и в описанном выше случае секторного перепуска, при изменении уровня слоя материала в нижерасположенном чане днище поворачивается на оси, и образующаяся щель позволяет материалу из вышерасположенного чана пересыпаться в нижерасположенный.

При кондуктивном теплоподводе наибольшую температуру приобретают слои материала, примыкающие к греющей поверхности. Если не осуществлять отвод прогретого материала, то интенсивность теплопередачи уменьшится, так как снизится движущая сила процесса (разность температур), и появится опасность пригорания материала к поверхности нагрева.

Для устранения указанных отрицательных явлений по геометрической оси чанов проходит вал, к которому в каждом чане крепятся двухлопастные мешалки, называемые ножами. Нижняя плоскость ножей проходит практически вплотную к днищу, поверхность которого, в связи с этим, протачивается на станке. Рабочая передняя плоскость ножей, которая при вращении мешалки непосредственно оказывает давление на слой обрабатываемого материала, наклонена к горизонтальной плоскости под углом от 28 до 60°. Ножи изготавливают из чугуна или стали в виде двух частей (двух лопастей), которые соединены на валу при помощи стяжных болтов. В месте закрепления ножей на валу для предохранения их от проворачивания имеется шпонка.

Если оба этапа жарения проводят в чанной жаровне, то увлажнение осуществляется в верхнем чане. Применяют различные способы ввода влаги. Наиболее эффективный, но в последнее время не используемый из-за конструктивной сложности, осуществляется через лопасти мешалки — ножи.

Применяют подвод через трубу с отверстиями. Если просто разместить трубу над слоем материала, распределение влаги по всей массе неэффективно, а подача пара в этом случае не обеспечивает увлажнения. Размещение трубы внутри слоя дает более эффективное увлажнение, но при этом надо помнить о возможности забивания отверстий материалом. В связи с этим отверстия делают диаметром не более 3 мм и распо-

лагают их с противоположной стороны трубы по ходу движения материала. Для закрепления положения трубы в слое она крепится у стенки обечайки при помощи специального кронштейна, а другой конец трубы заглушен и сгибается петлей вокруг вертикального вала.

Чаны в жаровне установлены один на другом, и на крышке верхнего чана находится рама с приводом, включающим электродвигатель и редуктор. Вся жаровня смонтирована на трех колоннах. Ведущий вал редуктора и вал жаровни соединены продольно-свертной муфтой, в заточке которой подвешен вал, проходящий через подшипники скольжения, расположенные в днищах чанов жаровни. Подшипники представляют собой чугунные стаканы с бронзовыми втулками, внутри которых имеются каналы для ввода консистентной смазки с помощью колпачковых масленок.

Для отвода паров, образующихся при сушке мезги в чанах жаровни, имеется аспирационная система, которая представляет собой трубу-стояк, соединенную индивидуально с каждым чаном. Тяга в аспирационной системе естественная.

Требования к операторам жаровен:

- 1) обеспечить на каждый чан регулировку подачи пара, применить индивидуальные конденсатоотводчики;
- 2) из паровых рубашек беспрепятственно удалять конденсат;
- 3) из паровых рубашек удалять воздух через воздушные краны;
- 4) обеспечить удаление испаренной влаги;
- 5) проводить постоянное перемешивание мезги в чане для увеличения коэффициента теплопередачи;
- 6) осуществить теплоизоляцию чанов и трубопроводов.

Перед пуском жаровни после длительной остановки проверяют исправность инактиватора или пропарочно-увлажнителя шнека, транспортных элементов, а также наличие крышек на шнеках и ограждений на приводах. Не должно быть оставлено нигде посторонних предметов (чаще всего это бывает инструмент). Окончательную проверку проводят на холостом ходу, и если все в норме, приступают к проверке жаровни. Проверяют наличие смазки в редукторе и масленках промежуточных подшипников скольжения вертикального вала.

Техническая характеристика шестичанной жаровни Ж-68

Производительность, т/сут	150
Диаметр чана (внутренний), мм	2100
Высота чана, мм	528
Общая поверхность нагрева чанов, м ²	33,5
Рабочее давление пара, МПа	0,6
Частота вращения мешалки, об/мин	32
Мощность привода жаровни, кВт	30
Общая высота жаровни, мм	6830
Масса, кг	12000

Осмотру подлежат магнитная защита, аспирационная система, площадки, крышки, люки, а также приборы (амперметры, термометры, манометры). Чаны подвергают внутреннему осмотру с использованием переносной низковольтной электролампы. Нигде не должны быть оставлены посторонние предметы.

После проворачивания вручную вала жаровни включают электродвигатель жаровни. Если при этом не отмечено стуков и т.п., то можно считать испытания на холостом ходу оконченными, и электродвигатель следует временно выключить.

За 20 мин до подачи мятки в жаровню начинают ее разогрев. Вначале открывают продувочные линии конденсационных горшков, затем приоткрывают (на 1—1,5 оборота) общий парозапорный вентиль и после этого постепенно пускают глухой пар в рубашки чанов жаровни так, чтобы не было гидравлических ударов и повреждений рубашек или паропроводов.

После прогрева чанов жаровни конденсационные горшки переводят на автоматическую работу, а также включают все механизмы, начиная от жаровни до пропарочно-увлажнительного шнека, магнитного сепаратора и транспортных элементов.

С момента подачи мятки в пропарочно-увлажнительный шнек в него начинают подавать пар. Далее начинают заполнение мяткой чанов жаровни, что выполняют при открытых перепускных клапанах. После достижения мезгой требуемой температуры в последнем чане ее пускают в пресс и жаровню переводят на установившийся режим работы.

Обслуживание жаровни заключается в проверке работы перепускных клапанов, редуктора и всей жаровни. Надо следить за температурой и влажностью мезги в последнем чане. Систематически (не реже двух раз в смену) продувают конденсационные горшки, а также следят за работой магнитной защиты.

Остановку жаровни начинают с прекращения подачи мятки. Далее заканчивают обработку мятки, оставшейся в транспортных элементах, пропарочно-увлажнительном шнеке и чанах жаровни. Срабатывание идет последовательно и соответственно регулируют подачу глухого пара так, чтобы не пережарить мезгу. Когда мезга полностью сработана, подачу пара в жаровню прекращают и открывают боковые люки для зачистки всех чанов. При неожиданной остановке жаровни (например, при прекращении подачи электроэнергии), если длительность остановки будет превышать 1,5 ч, из жаровни через люки выгружают мезгу во избежание ее самовозгорания. Остановка вращения ножей возможна при заклинивании их посторонними предметами или при обрыве соединительной муфты. В этом случае также необходима остановка жаровни с выгрузкой мезги через люки, с последующим устранением указанных неполадок.

Основы расчета аппаратов (жаровен)

Расчет жаровни для влаготепловой обработки подразделяется на: конструктивный (определяются геометрические размеры чана и жаровни в целом); тепловой (определяются расход пара и площадь греющей поверхности); энергетический (определяется мощность на привод мешалки).

Конструктивный расчет. При конструктивном расчете определяем размеры чана. Для этого надо знать время жарения $\tau_{ж}$, которое складывается из времени увлажнения мятки $\tau_{у}$ в первом чане и времени сушки мезги $\tau_{с}$ в последующих чанах.

Время сушки $\tau_{с}$ (мин) от начальной влажности мезги $W_{н}$ до конечной влажности мезги $W_{к}$ определяется по формуле:

$$\tau_{с} = 2,66 \cdot 10^3 (\lg W_{н} - \lg W_{к}) / [t^3 (2,669 - \lg H) (0,554\omega + 1)], \quad (6.1)$$

где t — температура греющей поверхности (принимается равной температуре конденсации насыщенного водяного пара и берется из таблиц водяного пара в зависимости от давления греющего пара $P_{гр}$), °C; H — высота слоя материала в чане, мм; ω — угловая скорость вращения мешалки, s^{-1} .

$$\omega = \pi n / 30, \quad (6.2)$$

где n — частота вращения мешалки, об/мин.

Определение продолжительности жарения в общем случае $n_{ч}$ в жаровне

$$\tau_{ж} = \tau_{с} / (n_{ч} - 1) + \tau_{с} = \tau_{с} n_{ч} / (n_{ч} - 1). \quad (6.3)$$

Чтобы определить диаметр и высоту чана жаровни, необходимо вначале определить время нахождения мезги в одном чане

$$\tau = \tau_{ж} / n_{ч}. \quad (6.4)$$

Задаваясь необходимой производительностью жаровни по мятке (Q , т/сут), находим количество мезги $G_{ж}$ (кг), обрабатываемое в одном чане

$$G_{ж} = Q \cdot \tau \cdot 1000 / (24 \cdot 60). \quad (6.5)$$

При принятых H и ρ^v количество материала в чане можно выразить

$$G_{ж} = (\pi D^2 / 4) \cdot H \cdot 10^{-3} \cdot \rho^v, \quad (6.6)$$

где D — диаметр чана жаровни, м; H — высота слоя материала в чане, мм; ρ^v — объемная масса мезги, $\rho^v = 450$ кг/м³.

Отсюда можно определить диаметр чана

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^3 G_{ж}}{\pi H \rho^v}}. \quad (6.7)$$

С учетом (6.1), (6.3), (6.5), (6.6) можно записать более общую формулу

$$D = 4,85 \cdot 10^5 \sqrt{\frac{Q(\lg W_n - \lg W_k)}{H \rho^v (n_v - 1) t^3 (2,669 - \lg H)(0,554\omega + 1)}}. \quad (6.8)$$

Возможно определить оптимальную высоту слоя мезги в чане, обеспечивающую максимальную производительность жаровни. Для этого преобразуем уравнение (6.8) к виду

$$Q = 4,25 \cdot 10^{-12} D^2 \rho^v (n_v - 1) \cdot t^3 \cdot (0,554\omega + 1) \frac{H(2,669 - \lg H)}{(\lg W_n - \lg W_k)}. \quad (6.9)$$

Обозначив часть уравнения (6.9), не зависящую от H

$$C = 4,25 \cdot 10^{-12} D^2 \rho^v (n_v - 1) \cdot t^3 \cdot (0,554\omega + 1) \frac{1}{(\lg W_n - \lg W_k)},$$

перепишем (6.9) в виде

$$Q = C \cdot H \cdot (2,669 - \lg H). \quad (6.10)$$

Возьмем производную по H и приравняем полученное выражение к нулю

$$Q' = C \cdot [H \cdot (-0,4343/H) (2,669 - \lg H)] = 0. \quad (6.11)$$

Корень этого уравнения $\lg H = 2,265$ и $H = 184$ мм.

Чтобы проверить, максимум или минимум имеет место, найдем вторую производную и определим ее значение при найденном H

$$Q'' = -0,4343/H < 0.$$

Таким образом, в данном случае имеет место максимум.

Высота чана H_v (мм) определяется, исходя из высоты слоя мезги в чане H и коэффициента заполнения чана K

$$H_v = H/K, \quad (6.12)$$

где H — высота слоя материала в чане, мм; K — коэффициент заполнения (K принимается не выше 0,6).

Определение общей высоты жаровни (без привода) проводится по соотношению (мм)

$$H_{\Sigma} = n_v H_v + n_d h_d, \quad (6.13)$$

где h_d — высота паровой рубашки днища, мм (принимается в пределах 80—100).

Тепловой расчет. Тепловой расчет проводится отдельно для первого (с увлажнением) чана и остальных (сушильных) чанов. При этом

расчете определяется расход пара на жарение и площадь греющей поверхности.

Тепловой расчет 1-го чана начинается с *материального баланса*.

Приход: 1. Влага, поступающая с мяткой (кг)

$$B = G_x W_n / 100, \quad (6.14)$$

где W_n — влажность мятки, поступающей в 1-ый чан (исходная влажность), %.

2. Абсолютно сухое жирное вещество (СЖВ) мятки (кг)

$$G_{сжв} = G_x - B. \quad (6.15)$$

3. Капельная влага, вводимая при увлажнении в чан (кг)

$$B'_1 = 1,3 B'_1, \quad (6.16)$$

где B'_1 — расчетное количество капельной влаги, вводимой в мятку, кг; 1,3 — коэффициент, учитывающий, что 30% вводимой влаги испаряется.

$$B'_1 = B_2 - B, \quad (6.17)$$

где B_2 — количество влаги в мятке после увлажнения ее капельной влагой до влажности W_1 , кг.

$$B_2 = P_1 - G_{сжв}, \quad (6.18)$$

где P_1 — количество мятки в чане при влажности W_1 , кг.

$$P_1 = G_{сжв} 100 / (100 - W_1), \quad (6.19)$$

где W_1 — влажность мятки после увлажнения ее капельной влагой, %.

4. Влага, вводимая в чан при пропаривании, кг

$$B_2 = 1,5 B'_2, \quad (6.20)$$

где B'_2 — расчетное количество влаги, вводимой в мятку при пропаривании, кг; 1,5 — коэффициент, учитывающий, что 50% вводимого пара не конденсируется и проходит пролетом.

$$B'_2 = P_2 - P_1, \quad (6.21)$$

где P_2 — количество мятки в чане при влажности W_n перед поступлением ее в сушильные чаны, кг.

$$P_2 = G_{сжв} 100 / (100 - W_n), \quad (6.22)$$

где W_n — начальная влажность мятки перед поступлением ее в сушильные чаны после увлажнения капельной влагой и паром.

Находим количество влаги, внесенной в мятку при увлажнении, (кг)

$$B_y = B'_1 + B'_2. \quad (6.23)$$

Находим количество влаги, испарившейся в чане (кг)

$$V_{ис} = (V_1 - V'_1) + (V_2 - V'_2). \quad (6.24)$$

Находим количество влаги, уходящей вместе с мяткой из 1-го чана в сушильные чаны (кг)

$$V_n = V + V_y. \quad (6.25)$$

5. Воздух, поступающий в чан, кг

$$L = 1,6(p_w/p_n) V_{ис}, \quad (6.26)$$

где p_n — парциальное давление паров воды в чане при температуре в чане, МПа; p_w — парциальное давление воздуха, МПа.

Согласно закону Дальтона

$$p_w = 0,1 - p_n. \quad (6.27)$$

Расход: 1. Влага, уходящая с мяткой в сушильный чан, кг

$$V_n = V + V_y = V + V'_1 + V'_2. \quad (6.28)$$

2. Абсолютно сухое жирное вещество мятки

$$G_{сжв}. \quad (6.29)$$

3. Влага, испарившаяся в чане

$$V_{исп}. \quad (6.30)$$

4. Воздух, уходящий из чана

$$L. \quad (6.31)$$

Уравнение баланса:

$$V + G_{сжв} + V_1 + V_2 + L = V_n + G_{сжв} + V_{исп} + L. \quad (6.32)$$

Тепловой баланс 1-го чана. Определяем коэффициент теплоемкости сухого жирного вещества мятки

$$c_{сжв} = 3600 \lambda / a \rho^v, \text{ Дж/кг} \cdot \text{град}, \quad (6.33)$$

где λ — коэффициент теплопроводности мятки в абсолютно сухом состоянии, Вт/(м·К); a — коэффициент температуропроводности мятки в абсолютно сухом состоянии, м²/ч; ρ^v — объемная масса мятки, кг/м³.

$$\rho^v = 437 + 100\tau - \tau^2, \quad (6.34)$$

где τ — время процесса (время нахождения мятки в чане), ч.

$$\lambda = [(532 + 18,7W + 4,6t)10^{-4}](0,25 + 17 \cdot 10^{-4} \rho^v), \quad (6.35)$$

где W — влажность мятки, %; t — температура мятки в чане, °С.

$$a = [(258 + 4,5W + 1,12t)10^{-6}](1,22 - 5 \cdot 10^{-4} \rho^v). \quad (6.36)$$

Приход тепла (Дж): 1. Тепло с влагой мятки

$$Q_1 = V c_p t_1, \quad (6.37)$$

где c_n — теплоемкость воды: $c_n = 4186,6$ Дж/(кг · град); t_1 — температура поступающей мятки, °С.

2. Тепло с СЖВ мятки

$$Q_2 = G_{\text{СЖВ}} c_{\text{СЖВ}} t_1, \quad (6.38)$$

3. Тепло с капельной влагой при увлажнении мятки

$$Q_3 = V_1 c_n t_2, \quad (6.39)$$

где t_2 — температура воды ($t_2 = 60-70^\circ\text{C}$).

4. Тепло с паром при доувлажнении мятки

$$Q_4 = B_2 i_n, \quad (6.40)$$

где i_n — энтальпия пара, Дж/кг.

5. Тепло с воздухом, поступающим в чан

$$Q_5 = L c_{\text{воз}} t_3, \quad (6.41)$$

где $c_{\text{воз}}$ — удельная теплоемкость воздуха, Дж/кг град (при $t_3 = 25-30^\circ\text{C}$, $c_{\text{воз}} = 1005$ Дж/(кг · град) для $t \leq 150^\circ\text{C}$).

6. Тепло с греющим паром

$$Q_6 = D i_n, \quad (6.42)$$

где D — расход пара, кг; i_n — энтальпия греющего пара, Дж/кг.

Расход тепла (Дж): 1. Тепло, уносимое влагой в мезге

$$Q_7 = V_n c_n t_4, \quad (6.43)$$

2. Тепло, уносимое СЖВ мезги

$$Q_8 = G_{\text{СЖВ}} c_{\text{СЖВ}} t_4, \quad (6.44)$$

3. Тепло, уносимое испарившейся влагой

$$Q_9 = B_{\text{ис}} i'_n, \quad (6.45)$$

где i'_n — энтальпия пара при температуре в чане (t_4).

4. Тепло, уносимое уходящим воздухом

$$Q_{10} = L c_{\text{воз}} t_4, \quad (6.46)$$

5. Тепло, уходящее с конденсатом греющего пара

$$Q_{11} = D i_k, \quad (6.47)$$

где i_k — энтальпия конденсата, Дж/кг.

6. Теплопотери

$$Q_{12} = 0,02 Q_6 = 0,02 D i_n, \quad (6.48)$$

Уравнение баланса:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{11} + Q_{12}, \quad (6.49)$$

Расход пара в чане 1

$$D = Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10} - Q_1 - Q_2 - Q_3 - Q_4 - Q_5 / 0,98(i_n - i_k). \quad (6.50)$$

Часовой расход пара на 1-ый чан (кг/ч)

$$D_1 = D 60/t. \quad (6.51)$$

Тепловой расчет сушильных чанов.

Материальный баланс сушильных чанов.

Приход (кг): 1. Влага, поступающая с мезгой

$$B_n. \quad (6.52)$$

2. Абсолютно СЖВ мезги

$$G_{сжв}. \quad (6.53)$$

3. Воздух, поступающий в сушильные чаны

$$L_1 = 1,6(p_p/p'_n) V'_{ис}, \quad (6.54)$$

где p'_n — парциальное давление паров воды (МПа) в сушильных чанах при средней температуре t_{cp} нагревания воды [$t_{cp} = (t_4 + t_3)/2$];

$$p_n = 0,1 - p'_n, \text{ Мпа}; \quad (6.55)$$

$$V'_{ис} = B_n - B_k, \text{ кг}; \quad (6.56)$$

$$B_k = P_3 - G_{сжв}, \text{ кг}; \quad (6.57)$$

$$P_3 = G_{сжв} 100/(100 - W_k), \text{ кг}. \quad (6.58)$$

Расход (кг): 1. Влага, уходящая из жаровни вместе с готовой мезгой

$$B_k. \quad (6.59)$$

2. Абсолютно СЖВ, уходящее из жаровни вместе с готовой мезгой

$$G_{сжв}. \quad (6.60)$$

3. Влага, испаренная в сушильных чанах

$$V'_{исп}. \quad (6.61)$$

4. Воздух, уходящий из сушильных чанов

$$L_1. \quad (6.62)$$

Уравнение баланса:

$$B_n + G_{сжв} + L_1 = B_k + G_{сжв} + V'_{ис} + L_1. \quad (6.63)$$

Тепловой баланс сушильных чанов.

Приход (Дж): 1. Тепло, вносимое влагой мезги

$$Q_1 = B_n c_n t_4. \quad (6.64)$$

2. Тепло, вносимое СЖВ мезги

$$Q_2 = G_{сжв} c_{сжв} t_4. \quad (6.65)$$

3. Тепло, вносимое воздухом, поступающим в сушильные чаны

$$Q_3 = L_1 c_{\text{воз}} t_3. \quad (6.66)$$

4. Тепло с греющим паром

$$Q_4 = D i'_n. \quad (6.67)$$

Расход (Дж): 1. Тепло, уносимое влагой мезги

$$Q_5 = B_k c_n t_5. \quad (6.68)$$

2. Тепло, уносимое СЖВ мезги

$$Q_6 = G_{\text{сжв}} c_{\text{сжв}} t_5. \quad (6.69)$$

3. Тепло, уносимое испарившейся влагой

$$Q_7 = B'_{\text{ис}} i'_{\text{п}}, \quad (6.70)$$

где $i'_{\text{п}}$ — энтальпия пара при средней температуре $t_{\text{ср}}$ в сушильных чанах.

4. Тепло, уносимое уходящим воздухом

$$Q_8 = L_1 c_{\text{воз}} t_{\text{ср}}. \quad (6.71)$$

5. Тепло, уходящее с конденсатом греющего пара

$$Q_9 = D i'_k. \quad (6.72)$$

6. Теплопотери

$$Q_{10} = 0,03 Q_4. \quad (6.73)$$

Уравнение баланса:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}. \quad (6.74)$$

Расход пара за время сушки

$$D = Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 - Q_1 - Q_2 - Q_3 / 0,97 (i'_n - i'_k). \quad (6.75)$$

Часовой расход пара на сушильные чаны, кг/ч

$$D_2 = D60/\tau_{\text{с}}. \quad (6.76)$$

Полный расход пара на жаровню, кг/ч

$$D_{\Sigma} = D_1 + D_2 + B_2 60/\tau. \quad (6.77)$$

Расчет площади греющей поверхности. Расчет потребностей поверхности нагрева 1-го чана (ведется путем решения уравнения Фурье):

$$Q = Fk\Delta t_{\text{ср}}\tau, \quad (6.78)$$

где Q — количество тепла, переданное через поверхность нагрева, Дж; k — коэффициент теплопередачи от пара и мезги через стенку жаровни, Вт/(м² · град); $\Delta t_{\text{ср}}$ — средняя разность температур процесса, °С; τ — время процесса, с.

Откуда $F, \text{ м}^2$

$$F = Q/k \Delta t_{\text{cp}} \tau. \quad (6.79)$$

Количество тепла, прошедшее через поверхность нагрева 1-го чана, Дж

$$Q = D(i_n - i_k), \quad (6.80)$$

где D — расход пара на 1-й чан за время τ , кг; i_n — энтальпия греющего пара, Дж/кг; i_k — энтальпия конденсата, Дж/кг.

Средняя разность температур Δt_{cp} определяется по формуле

$$\Delta t_{\text{cp}} = (\Delta t_6 - \Delta t_u) / 2, 3 \lg(\Delta t_6 / \Delta t_u), \quad (6.81)$$

где $\Delta t_6 = (t - t_1)$ — разность температур между температурой греющей поверхности и температурой вводимой мятки; $\Delta t_u = (t - t_2)$ — разность температур между температурой греющей поверхности и температурой мятки в чане.

Если отношение $(\Delta t_6 / \Delta t_u) < 2$, то Δt_{cp} вычисляется как среднеарифметическое

$$\Delta t_{\text{cp}} = (\Delta t_6 + \Delta t_u) / 2. \quad (6.82)$$

Коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, вычисляется по формуле

$$k = 1 / [1/\alpha_1 + \delta/\lambda_c + 1/\alpha_2], \quad (6.83)$$

где α_1 — коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося пара к стенке, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; α_2 — коэффициент теплоотдачи от стенки к мятке, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; δ — толщина стенки, м; λ_c — коэффициент теплопроводности стенки, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; для стали $\lambda_c = 50 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося пара на нижней поверхности горизонтального днища жаровни, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$, определяется по формуле

$$\alpha_1 = 0,0161 A \left(\frac{\tau}{\Delta t} \sqrt{\frac{\rho}{\sigma}} \right)^{0,25}, \quad (6.84)$$

где τ — скрытая теплота парообразования, Дж/кг; Δt — перепад температур в пленке конденсата, °С; ρ — плотность конденсата, кг/м³; σ — коэффициент поверхностного натяжения конденсата, Н/м; A — коэффициент, зависящий от температуры пара

$t, \text{ °С}$	20	40	60	80	100	120	140	160	180
A	1470	1700	1900	2070	2190	2300	2370	2410	2430

Коэффициент теплоотдачи от верхней поверхности горизонтального днища жаровни к мятке определяется по формуле

$$\alpha_2 = 0,315 \frac{\lambda H}{h^2} \text{Fo}^{-0,5} \left(\frac{t-20}{20} \right)^{0,67} \left(\frac{W_n}{W_n - W_k} \right)^{0,1} - 20 \left(1 - \frac{\sin \alpha}{\sin 60^\circ} \right), \quad (6.85)$$

где λ — коэффициент теплопроводности мятки при влажности W_n и температуре t , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$; H — высота слоя материала, м; h — высота лопасти мешалки, м; $H/h = 5$; Fo — модифицированный критерий Фурье для теплообмена, не осложненного влагообменом:

$$\text{Fo} = a_m \tau_k H^2 / 3600 h^4, \quad (6.86)$$

где a_m — коэффициент температуропроводности мятки в 1-м чане при влажности W_n , м²/час; τ_k — время контакта мятки с греющей поверхностью, с:

$$\tau_k = (30/n) K_{\text{эф}}, \quad (6.87)$$

где n — частота вращения мешалки, об/мин; $K_{\text{эф}}$ — условный коэффициент эффективности перемешивания

$$K_{\text{нр}} = [26,9 \lg n + 6,63(H/h) - 38,2](\tau/\tau_{\text{ст}})^{0,085}, \quad (6.88)$$

где τ — время нахождения мятки в чане, ч; $\tau_{\text{ст}}$ — установившееся время процесса «чистого» теплообмена, ч ($\tau_{\text{ст}} = 1,25$ ч);

$W_{\text{н}}/(W_{\text{н}} - W_{\text{к}})$ — параметрический симплекс влажности мятки, учитывающий влияние влаготеплообмена на теплообмен в процессе жарения. Для 1-го чана не учитывается.

Проверка перепада температур Δt в пленке конденсата, который был принят в пределах 1°C , при определении α_1 , проводится по соотношению:

$$\Delta t = (K/\alpha_1)[t - (t_1 + t_2)/2]. \quad (6.89)$$

Расчет потребной поверхности нагрева сушильных чанов. Пять (или четыре — в зависимости от назначения первого) сушильных чанов последовательно производят одну и ту же операцию — сушку мезги, влажность которой снижается с $W_{\text{н}}$ до $W_{\text{к}}$. Так как сушильные чаны выполняют одну и ту же операцию, то расчет нагрева любого из них производится аналогично расчету 1-го чана. При этом принимается: τ_c — время пребывания мезги в чанах, мин; $t_{\text{ср}}$ — средняя температура мезги в чанах, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{ср}} = (t_1 + t_2)/2$; W_c — средняя влажность мезги в сушильных чанах, %; $W_c = (W_{\text{н}} + W_{\text{к}})/2$. Суммарная поверхность нагрева чанов, м^2 , определяется по формуле

$$F = Q/k\Delta t_{\text{ср}} \tau_c, \quad (6.90)$$

где Q — расход тепла за время сушки, Дж:

$$Q = D(i_{\text{н}} - i_2), \quad (6.91)$$

где D — расход пара за время сушки τ_c , кг.

Средняя разность температур $\Delta t_{\text{ср}}$ процесса определяется по формулам

$$\Delta t_{\text{ср}} = (\Delta t_2 - \Delta t_1)/2, 3 \lg(\Delta t_2/\Delta t_1), \quad (6.92)$$

либо

$$\Delta t_{\text{ср}} = (\Delta t_2 + \Delta t_1)/2, \quad (6.93)$$

в зависимости от отношения $\Delta t_2/\Delta t_1$, где $\Delta t_2 = t - t_2$, $^\circ\text{C}$, $\Delta t_1 = t - t_1$, $^\circ\text{C}$.

При расчете коэффициента теплоотдачи для сушильных чанов, чтобы избежать принятия неизвестного температурного перепада в пленке конденсата в греющих камерах, применяется графо-аналитический метод. Поэтому расчет начинается с определения по ранее представленной формуле (6.85) коэффициента теплоотдачи α_2 от днища чана к перемешиваемой мезге, который не зависит от перепада температур в пленке конденсата.

$$\alpha_2 = 0,315 \frac{\lambda_{\text{м}} H}{h^2} \text{Fo}^{-0,5} \left(\frac{t-20}{20} \right)^{0,67} \left(\frac{W_{\text{н}}}{W_{\text{н}} - W_{\text{к}}} \right)^{0,1} - 20 \left(1 - \frac{\sin \alpha}{\sin 60^\circ} \right),$$

где $\lambda_{\text{м}}$ — коэффициент теплопроводности мезги, определяется по ранее представленной формуле (6.35) при влажности W_c и температуре t_c , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$;

$$\lambda_m = [(532 + 18,7W_c + 4,6 t_c)10^{-4}] (0,25 + 17 \cdot 10^{-4} \rho_m),$$

где ρ_m — объемная масса мезги, кг/м³;

$$\rho_m = 437 + 100\tau_c - 40\tau_c^2, \quad (6.94)$$

где τ_c — время процесса (время пребывания мезги в сушильных чанах), ч;

Fo — модифицированный критерий Фурье (см. 6.86)

$$Fo = a_m \tau_k H^2 / 3600h^4, \quad (6.95)$$

где a_m — коэффициент температуропроводности мятки в сушильных чанах — определяется по ранее представленной формуле (6.36) при влажности W_c , м²/час;

$$a_m = [(258 + 4,5 W_c + 1,12 t_c)10^{-6}] (1,22 - 5 \cdot 10^{-4} \rho_m),$$

τ_k — время контакта мезги с греющей поверхностью в сушильных чанах:

$$\tau_k = (30/n) K_{\text{эф}}, \quad (6.96)$$

$K_{\text{эф}}$ — условный коэффициент эффективности перемешивания

$$K_{\text{эф}} = [26,9 \lg n + 6,63(H/h) - 38,2](\tau/\tau_{\text{крит}})^{0,085}. \quad (6.97)$$

Коэффициент теплоотдачи α_1 , Вт/(м² · К)

$$\alpha_1 = 0,0161 A \left(\frac{r}{\Delta t} \sqrt{\frac{\rho}{\sigma}} \right)^{0,25}. \quad (6.98)$$

Преобразуем уравнение (6.98), вынося неизвестное Δt за скобку

$$\alpha_1 = 0,0161 A \left(r \sqrt{\frac{\rho}{\sigma}} \right)^{0,25} \Delta t^{-0,25}. \quad (6.99)$$

Вычислим выражение

$$0,0161 A \left(r \sqrt{\frac{\rho}{\sigma}} \right)^{0,25} = B. \quad (6.100)$$

Таким образом

$$\alpha_1 = B \Delta t^{-0,25}. \quad (6.101)$$

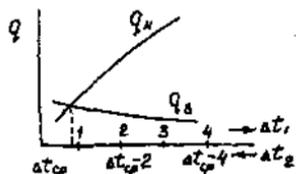
При установившемся режиме количество тепла, передаваемого от горячего теплоносителя к стенке, через стенку и от стенки к материалу, равны между собой, поэтому тепловое напряжение нижней и верхней стороны днища жаровни будут одинаковы, т.е.:

$$q_n = q_n, \quad (6.102)$$

где $q_n = F \alpha_1 \Delta t_1 = F B \Delta t_1^{0,75}$; $q_n = F \alpha_2 \Delta t_2$ (Δt_1 — перепад температур в пленке конденсата; Δt_2 — перепад между днищем жаровни и мезгой, $\Delta t_2 = \Delta t_{\text{ср}}$).

Величины B и α_2 вычислены ранее, поэтому определим q_n и q_b в зависимости от принимаемых значений Δt_1 — в пределах от 0,5 и выше (5—7 значений), и Δt_2 — в пределах от Δt_{cp} и ниже (5—7 значений). На основании вычислений составляются таблицы и строится график в координатах $q-\Delta t$.

Δt	0,5	1	2	
q_n				
Δt_2	Δt_{cp}	$\Delta t_{cp} - 1$		
q_b				



Точка пересечения кривых $q_n = f(\Delta t_1)$ и $q_b = f(\Delta t_2)$ является выполнением условия $q_n = q_b$. Снося эту точку на ось абсцисс, получаем Δt_1 и Δt_2 . После чего вычисляется коэффициент α , и общий коэффициент теплопередачи K .

Вычислив суммарную поверхность чанов, определим поверхность нагрева сушильного чана, m^2

$$F_{1\text{с.ч.}} = F_{\text{с.ч.}} / n_{\text{с.ч.}}, \quad (6.103)$$

где $n_{\text{с.ч.}}$ — число сушильных чанов в жаровне.

Полная поверхность нагрева жаровни, m^2

$$F_x = F + F_{\text{с.ч.}}, \quad (6.104)$$

Энергетический расчет. Определение расхода энергии, необходимой для работы перемешивающих устройств, следует проводить по каждому чану отдельно, т.к. величина коэффициента сопротивления меняется из-за изменения физических свойств мезги в процессе жарения.

Расчет производится по приближенному эмпирическому уравнению

$$N = \rho_m (0,523 \sqrt{n} - 1) n L^{3,1} H^{2,25} b \sin \alpha \zeta C, \quad (6.105)$$

где ρ_m — объемная масса мезги в соответствующем чане; n — частота вращения мешалки, об/мин; L — длина одной лопасти, м; H — высота слоя мезги в чане, м; b — ширина ножа, м; α — угол наклона ножа к горизонту; ζ — коэффициент формы лопасти (при прямоугольной лопасти $\zeta \approx 1,0$; при лопасти с переменным углом наклона $\zeta = 0,76-0,80$); C — коэффициент сопротивления:

$$C = 0,11 - 1,6 \cdot 10^{-4} \tau, \quad (6.106)$$

где τ — время от начала жарения в соответствующем чане, с.

Суммарный расход энергии, кВт, на жаровню составит

$$N_y = 1,1 (\sum N_i + N_{xx}), \quad (6.107)$$

где $1,1$ — коэффициент запаса мощности; N_{xx} — мощность холостого хода ($N_{xx} = 2$ кВт); N_i — мощность, рассчитываемая по формуле для каждого чана, кВт.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение операции влаготелловой обработки мятки?
2. Какие аппараты применяются для осуществления операции влаготепловой обработки мятки?
3. В чем заключается принцип самоочистки шнеков в инактиваторе?
4. Как устроен и работает групповой инактиватор?
5. Как устроен и работает пропарочно-увлажнительный шнек?
6. Как устроена и работает чанная жаровня?
7. Как устроены и работают перепускные устройства?
8. Как отводятся пары, образующиеся при сушке мезги в чанах жаровни?
9. Какова последовательность пуска и остановки чанной жаровни?
10. Какие основные причины могут вызвать остановку мешалок в чанах жаровни?

Задания

1. Выполнить конструктивный расчет (определить размеры D и $H_{ж}$) шестичанной жаровни, в первом чане которой производится увлажнение, а во втором-шестом чанах — сушка. Начальная влажность мезги перед сушкой $W_n = 8\%$, а конечная влажность мезги, уходящей из жаровни, $W_k = 2\%$. Производительность жаровни $G_{стм} = 90$ т/сут по семенам, лужистость которых $L_c = 22\%$, а мятка имеет лужистость $L_m = 8\%$. Высота слоя мезги в чанах жаровни $H = 200$ мм, а объемная масса мезги $\rho' = 450$ кг/м³. Чаны жаровни обогреваются «глухим» греющим паром с давлением (абсолютным) $P_{гп} = 0,7$ МПа. Слой мезги перемешивается мешалкой, имеющей число оборотов $n = 32$ об/мин.
2. Выполнить расчет материальных и тепловых балансов 1-го чана, используя исходные данные задания 1, а также дополнительные данные: исходная влажность мятки перед поступлением в жаровню $W_n = 6\%$; влажность мятки после увлажнения капельной влагой $W_1 = 7\%$; температура мезги на выходе из 1-го чана $t_2 = 85^\circ\text{C}$; температура мятки на входе в жаровню $t_1 = 25^\circ\text{C}$; температура воды, используемой для увлажнения, $t_3 = 60^\circ\text{C}$; температура воздуха в помещении $t_4 = 30^\circ\text{C}$.
3. Выполнить расчет материальных и тепловых балансов сушильных чанов, используя исходные данные заданий 1 и 2, а также дополнительные данные: температура мезги на выходе из сушильных чанов $t_5 = 120^\circ\text{C}$.
4. Выполнить расчет потребной поверхности нагрева 1-го чана на основе исходных данных задания 2.
5. Выполнить расчет потребной поверхности нагрева сушильных чанов на основе исходных данных задания 3.

ГЛАВА 7.

МАШИНЫ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МАСЛА ПУТЕМ ПРЕССОВАНИЯ

Механический способ получения масла путем прессования масляного материала, прошедшего предварительную подготовку, распространен практически повсеместно не только на прессовых маслозаводах, но и на маслоэкстракционных заводах, где основной остается технологическая схема форпрессования — экстракция (при этом получают до 75% прессового масла).

В настоящее время применяется только непрерывный способ прессования на шнековых прессах.

Различают шнековые прессы для предварительного съема масла (форпрессы) и для окончательного съема масла (экспеллеры). Главное их различие в конструкции основного рабочего органа шнекового пресса — шнекового вала, который собран из отдельных витков, насаживаемых на общий вал.

Для форпрессов характерно уменьшение шага витков от начала к концу вала, при этом в некоторых случаях диаметр тела витка увеличивается. Для экспеллеров шаг витков и диаметр тела витков изменяются в значительно меньшей степени.

Учитывая, что различия между прессами для предварительного и окончательного прессования заключаются в основном в наборе витков шнекового вала, в настоящее время выпускают прессы (в частности, ЕТП-20) с двумя соответствующими наборами витков, что позволяет прессу работать в обоих режимах.

Принцип работы шнековых прессов остается общим. При вращении шнекового вала, помещенного в зерный барабан, т.е. барабан, собранный из пластин (называемых зерными) с малыми зазорами между ними, происходит транспортирование прессуемого материала от места загрузки к выходу. В результате уменьшения свободного объема витков по ходу движения материала, вследствие уменьшения шага и увеличения диаметра тела витка от начала к концу шнекового вала, материал подвергается сжа-

тию. При этом в материале возникает давление, которое отжимает масло из мезги. Масло проходит через зазоры в зерном барабане и собирается в поддоне. Отжатый маслянистый материал (называемый жмыхом) на выходе из зернового барабана встречается с устройством, регулирующим толщину выходной щели и, тем самым, противодействием во всем шнековом тракте пресса.

Маслопресс ФП

Конструкции шнековых прессов при всем разнообразии их марок имеют много общего, в том числе и основные узлы, которые рассмотрены на примере пресса ФП (рис. 7.1).

Станина 1, являющаяся основой, на которой смонтированы все главные узлы шнекового пресса, выполнена чаще всего литой из чугуна. Обычно она состоит из двух стоек, соединенных стяжными болтами. Иногда станины делают сварными из стали, но жесткость их ниже, чем литых.

Зерный барабан 4 чаще всего выполняют из нескольких ступеней, различающихся диаметром. В поперечном сечении каждая ступень зернового барабана состоит из стяжных скоб (из толстой листовой стали толщиной 30 мм), имеющих осевой разъем, зерных планок, набранных цилиндрической поверхностью и опирающихся на кромку центрального отверстия стяжных скоб. Зерные планки в скобах закреплены между упорным клином в разьеме и натяжным клином, установленным на вертикальной оси. Таким образом, стопа зерных планок занимает четверть окружности, в каждой половине стяжной скобы расположены две такие стопы зерных планок, а всего в обеих половинках стяжной скобы — четыре. Укладывают зерные планки одну к другой так, чтобы «завершенность» их выступающих частей была расположена по направлению вращения шнекового вала. Удерживание набранных зерных планок обеспечивается натяжным клином, который при помощи винтов может подтягиваться к стяжной скобе, и его наклонная плоскость при этом оказывает давление с большей силой на стопу зерных планок.

По всей длине зернового барабана установлено несколько стяжных скоб (так, в прессе ФП зерный барабан имеет длину 1167,5 мм и четыре секции-ступени различного диаметра: $\varnothing_1 250$ мм, $\varnothing_2 200$ мм, $\varnothing_3 220$ мм, $\varnothing_4 240$ мм, а стяжных скоб тринадцать). Стяжные скобы одной половинки с набранными в них зерными планками образуют половинку зернового цилиндра. Обе половинки зернового цилиндра при помощи четырех стяжных брусьев и шпилек могут быть соединены в единый зерный барабан.

В месте разьема заложены фигурные пластины-ножи, которые имеют выступы и вырезы в соответствии с конфигурацией шнекового вала.

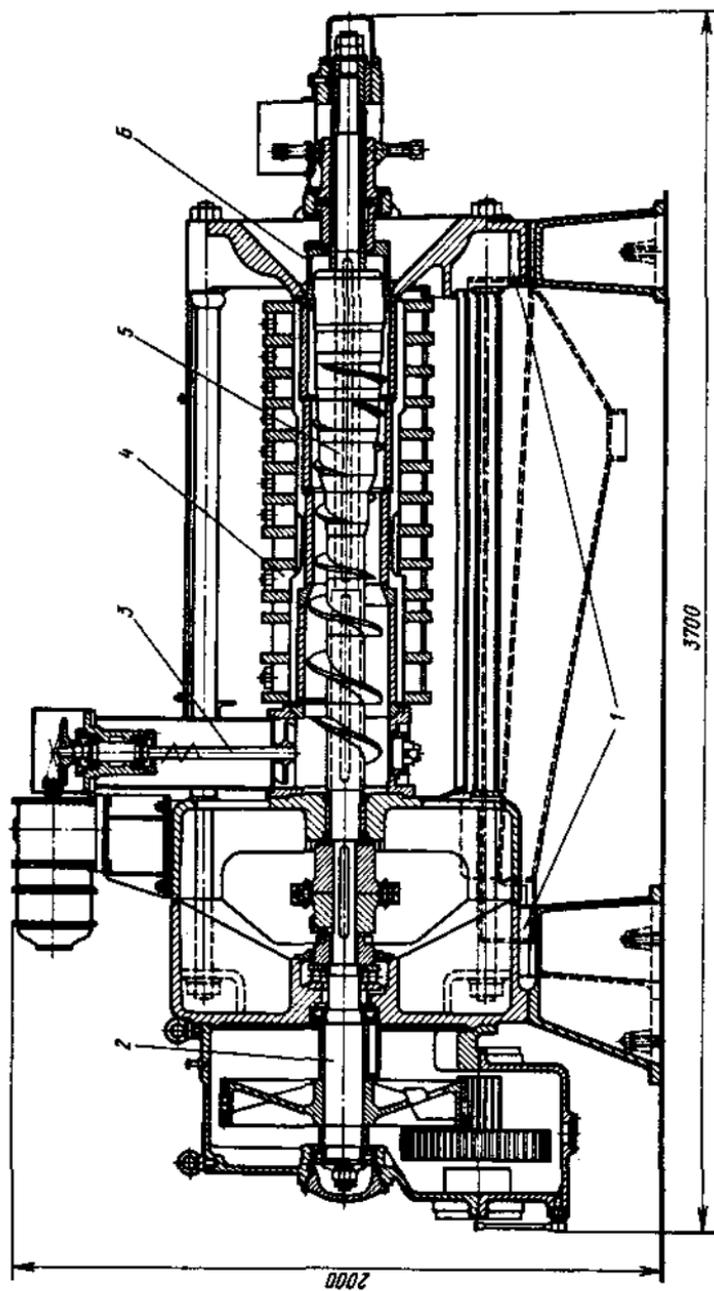


Рис. 7.1. Форпресс ФП

Назначение ножей — предотвратить проворачивание материала вместе со шнековым валом. Этому же способствует «заершенность», образованная зерными планками. Зазоры между зерными планками необходимы для выхода выделяющегося при прессовании масла. Зазоры между планками обеспечиваются тем, что на боковых поверхностях зерных планок делают специальные приливы. По длине зерного барабана установлено несколько зерных планок — практически столько, сколько ступеней, т. е. длина планки и длина ступени совпадают.

Величина зазора между зерными планками зависит от того, какой — предварительный или окончательный съем масла производят на прессе, а также от того, какое масличное сырье перерабатывают. В случае предварительного прессования зазор между планками несколько больше, чем в случае окончательного прессования. Зазор между зерными планками изменяется от ступени к ступени, уменьшаясь по направлению к выходу прессуемого материала. Указанный характер изменения зазора между зерными планками связан с необходимостью облегчения стока отпрессованного масла при ограничении по количеству осыпи (твердых частиц прессуемого материала), выходящей вместе с маслом. Чем больше давление в прессе, а оно больше в случае окончательного прессования и растет по направлению к выходу прессуемого материала, тем меньше должен быть зазор между зерными планками. Общее изменение зазора от 1,5 до 0,15 мм.

Шнековый вал 5 является основным рабочим органом любого шнекового пресса. Пространство между внешней поверхностью шнекового вала и внутренней поверхностью зерного барабана является рабочим пространством. При вращении шнекового вала прессуемый материал транспортируется в рабочем пространстве и, в связи с уменьшением свободного объема вдоль шнекового вала по направлению к выходу в результате уменьшения шага витков и увеличения диаметра тела шнека, прессуется с отжимом масла.

Конструктивно шнековый вал (рис. 7.2) выполняют сборным из отдельных шнековых витков, различающихся шагом и диаметром, и промежуточных колец, насаживаемых на гладкий вал и фиксируемых от проворачивания шпонкой. Такая конструкция позволяет изготавливать отдельные витки шнека с постоянным шагом, что упрощает технологию их изготовления, а также замену шнековых витков по мере их износа.

Регулировочное устройство 6 конусного типа обеспечивает регулирование давления в рабочей камере пресса, что особенно важно в период пуска пресса, который разогревается в течение определенного периода времени. Прессуемый материал в пусковой период имеет пониженную температуру, что приводит к повышению вязкости масла и затруднению его отжима при повышенном давлении. После разогрева пресса работа его нормализуется. Таким образом, рекомендуется в период пуска с помощью регули-

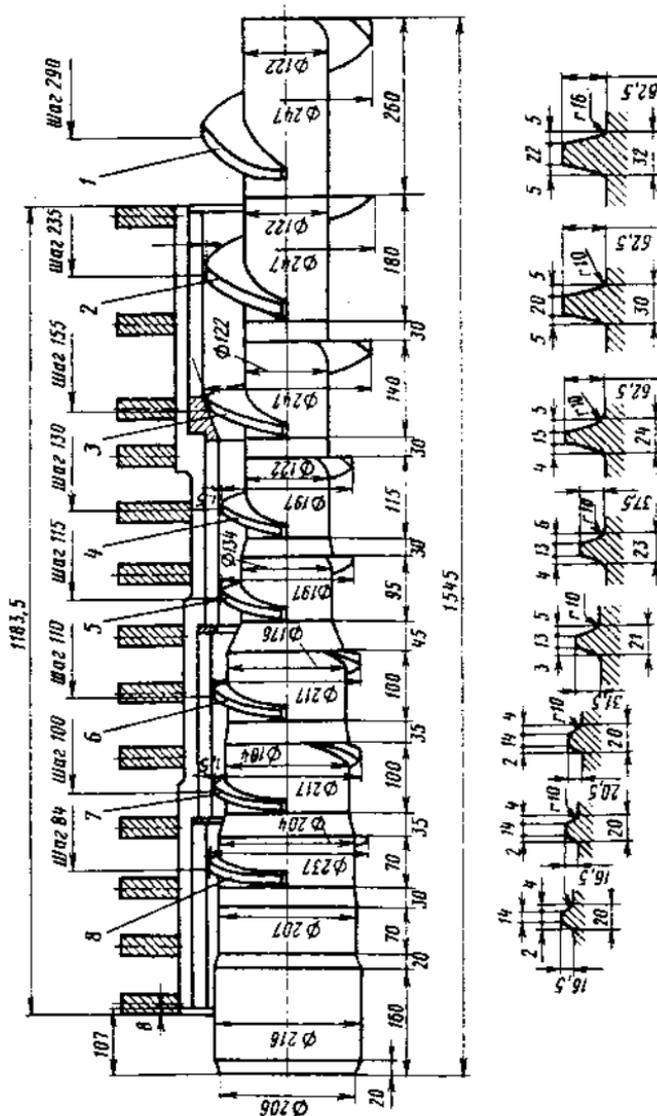


Рис. 7.2. Шнековый вал форпресса ФП:

1 — приемный виток; 2—8 — прессующие витки

ровочного устройства поддерживать в рабочей камере пресса давление меньше номинального (при пуске конус отодвигают на максимальное расстояние), и только после разогрева пресса с помощью регулировочного устройства поднимают давление в рабочей камере до номинального. При работе пресса возможен излишний его разогрев, и в этом случае, наоборот, понижают давление в рабочей камере пресса, что также выполняют с помощью регулировочного устройства. В некоторых конструкциях прессов для обеспечения требуемого снижения температуры дополнительно к снижению давления проводят охлаждение рабочей камеры пресса, подавая охлаждающую воду в специальный осевой канал шнекового вала или охлажденное масло на внешнюю поверхность зернового барабана.

Принцип регулирования давления в рабочей камере пресса заключается в изменении сечения выходной щели и, соответственно, связанного с ним местного сопротивления. В случае регулировочного устройства конусного типа перемещение конуса относительно выходного отверстия зернового барабана ведет к изменению ширины выходной щели.

Конусный регулятор состоит из длинной втулки, которая на части своей наружной поверхности имеет резьбу. На эту втулку навинчена правая и связанная с ней левая фигурные втулки. Левая втулка насажена с зазором, т.е. она не ограничена в окружном и осевом перемещении. С внешней стороны к левой втулке при помощи стопорных болтов прикреплен конус. Между левой и правой фигурными втулками вставлено кольцо, а сами втулки соединены между собой обоймой. На правой втулке на шпонке посажен штурвал с защелкой для фиксирования его положения.

Регулятор работает следующим образом. При вращении штурвала вращается связанная с ним правая фигурная втулка. В зависимости от направления вращения штурвала втулка получает продольное перемещение по резьбе в соответствующем направлении. Такое же перемещение получает связанная с правой фигурной втулкой левая фигурная втулка и укрепленный на ней конус. При этом происходит изменение ширины выходной щели.

Регулятор питания 3 обеспечивает равномерную подачу материала в рабочую камеру пресса, а также требуемую плотность материала на приемном витке шнекового вала, что позволяет поддерживать номинальную производительность и масличность выходящего материала. Существуют различные конструкции регуляторов питания. В частности, применяется вертикальный одновитковый шнек, расположенный в вертикальной питающей точке непосредственно над приемным витком шнекового вала.

Привод пресса 2 осуществляется от электродвигателя через редуктор. Редукторы на прессах встречаются разнообразной конструкции. В частности, в прессе ФП применяется коническо-цилиндрический встроенный редуктор.

Техническая характеристика пресса ФП

Производительность, т/сут, для семян:	
подсолнечника	35—45
хлопчатника	50—55
Масличность жмыха, %	20—12
Частота вращения шнекового вала, об/мин	12—25
Мощность электродвигателя, кВт	8—20
Габаритные размеры, мм	1563 × 1400 × 1950
Масса, кг	4250

Маслопресс МП-68

Маслопресс МП-68 — отечественный шнековый пресс, имеющий геометрические размеры рабочих органов (шнекового вала и зернового цилиндра), совпадающие с аналогичными размерами пресса ФП; основными его узлами (рис. 7.3) являются следующие.

Станина 14 выполнена литой, ее опорные стойки соединены между собой сварными трубами и двумя швеллерами. На станине со стороны выхода жмыха укреплен корпус упорного подшипника шнекового вала.

Шнековый вал 7 включает девять отдельных шнековых витков 6 и переходных колец 8, собранных на оси вала и стянутых концевой гайкой, и зерный цилиндр 9 — не отличающихся от аналогичных узлов пресса ФП. Ось шнекового вала опирается на радиальные сферические двухрядные подшипники 16, которые смонтированы на станине. Вращение шнековому валу передается от вала редуктора с помощью предохранительной крестовой муфты 3, одна из полумуфт которой установлена на оси шнекового вала. Предохранение пресса от поломок при перегрузках происходит путем срезания штифтов муфты. Рядом с полумуфтой на оси шнекового вала закреплена звездочка 4 целной передачи привода вращающейся течки питателя 5 пресса.

Зерная камера 9 состоит из двух половин, имеющих вертикальный разъем, шарнирное соединение снизу и клиновое соединение сверху, что вместе с лебедкой облегчает раскрытие и закрытие зерной камеры. Внутри зерной камеры имеются специальные ножи с выступами, которые препятствуют проворачиванию мезги вместе со шнековым валом.

Питатель 5 представляет собой вращающуюся трубу с неподвижными скребками, очищающими стенки от налипшего материала. Сверху корпус питателя закреплен на нижнем чане жаровни. Вращение трубе передается через цепную передачу и пару конических шестерен, одна из которых насажена на вращающуюся течку.

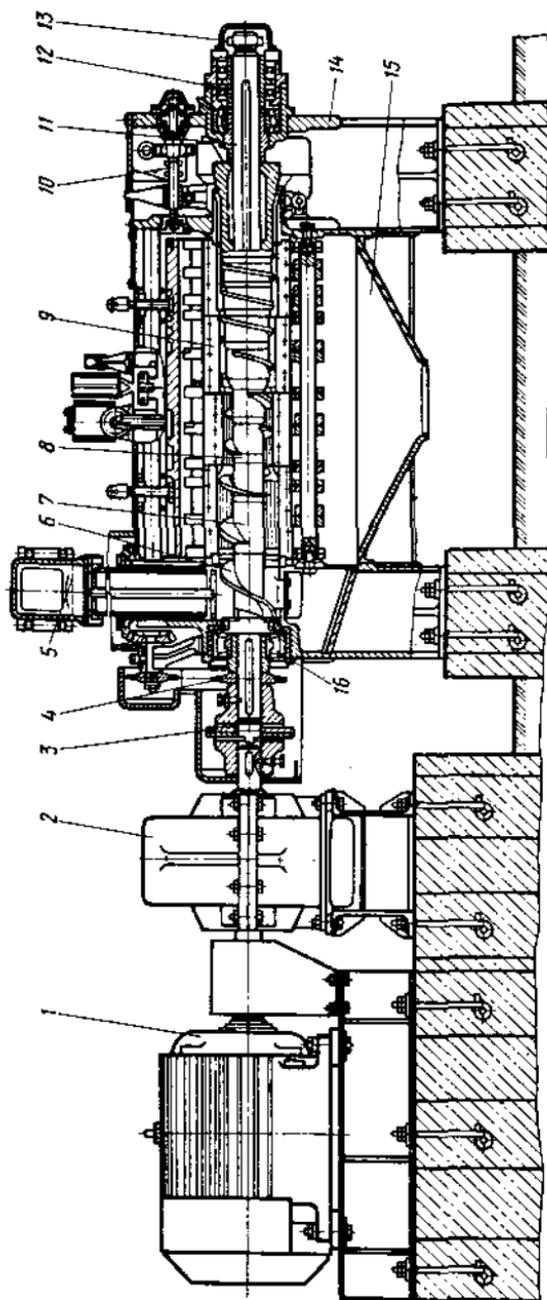


Рис. 7.3. Маслопресс МП-68

Механизм для изменения толщины выходящего из пресса жмыха 10 размещен в корпусе станины. Изменение величины зазора для регулирования выхода жмыха достигается перемещением кольца рычажной системы, которая через червячную передачу приводится в движение штурвалом, вынесенным на внешнюю сторону пресса. Имеется специальный указатель со стрелкой для установления требуемого зазора между кольцом и конусом.

Маслосборное устройство 15 состоит из сливного листа и сборника масла и закреплено между передней и задней стойками станины на швеллерах. Привод маслопресса состоит из электродвигателя 1 и редуктора 2, которые соединены муфтой 3. Электродвигатель трехскоростной; изменяя число его полюсов, можно получить различную частоту вращения.

Техническая характеристика пресса МП-68

Производительность, т/сут, для семян:	
подсолнечника	70
хлопчатника	70
Масличность жмыха, %	11–18
Частота вращения шнекового вала, об/мин	18, 24, 37
Мощность электродвигателя, кВт	28, 36, 40
Габаритные размеры, мм	4870 × 1570 × 2095
Масса, кг	5105

Маслопресс ЕТП-20

Маслопресс ЕТП-20 (рис. 7.4) изготавливается фирмой СКЕТ (ФРГ). Этот маслопресс является шнековым прессом и способен работать как в режиме форпрессования, так и в режиме окончательного прессования. Это обеспечивается изменением геометрии шнекового вала путем смены комплекта шнековых витков (при этом изменяют зазоры между зерновыми пластинками), а также изменением частоты вращения шнекового вала от 25–32 до 5–9 об/мин путем замены шестерен редуктора. Особенностью пресса ЕТП-20 является удлиненный зее (до 1800 мм), который имеет два диаметра (на питательной ступени 250 мм и 200 мм на остальных четырех ступенях). Шнековый вал можно подогревать или охлаждать путем подачи соответствующего агента (пара или воды) в имеющийся в нем канал. Ширина выходной щели пресса регулируется конусом, который перемещается от механической передачи, связываемой со шнековым валом. Для подачи мезги в пресс имеется шнековый питатель с самостоятельным приводом через вариатор.

Один пресс ЕТП-20 агрегируется с шестичанной жаровней Ж-230/6.

Техническая характеристика пресса ЕТП-20

Производительность, т/сут (по семенам подсолнечника):	
в режиме форпрессования ($M_x = 15-18\%$)	60-80
в режиме окончательного прессования ($M_x = 4-6\%$)	30-40
Электродвигатель пресса:	
мощность, кВт	55
частота вращения, об/мин	1460
Электродвигатель питателя:	
мощность, кВт	4
частота вращения, об/мин	1460
Число витков шнекового вала:	
для режима форпрессования	7
для окончательного прессования	8
Габаритные размеры, мм	5000 × 950 × 2340
Масса, кг	6180

Маслопресс РЗ-МОА

Маслопресс РЗ-МОА входит в состав высокопроизводительного маслоотжимного агрегата РЗ-МОА (рис. 7.5), который включает семичанную жаровню 1 с диаметром чанов 3000 мм, питатель 2, маслопресс 3 и кран-укосину 4. Высокопроизводительный маслоотжимной агрегат имеет повышенные габаритные размеры 8330 × 5725 × 3910 мм, а также массу 38 т. Маслопресс имеет габаритные размеры 1420 × 5725 × 1470 мм и массу 8,2 т.

Большая масса узлов и деталей маслоотжимного агрегата, потребности проведения демонтажа (монтажа) при техническом обслуживании и ремонтах послужили основанием для включения в состав агрегата крана-укосины.

Особенности маслопресса РЗ-МОА:

- применение шнекового питателя с приводным электродвигателем 10 кВт;
- осуществление нового технического решения механизма регулирования толщины жмыха (этот механизм универсален — он может быть изменен на матрицу и обеспечивать гранулирование жмыха);

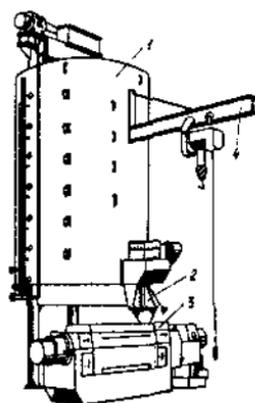


Рис. 7.5. Маслоотжимной агрегат РЗ-МОА:
1 — жаровня; 2 — питатель;
3 — маслопресс; 4 — кран-укосина

Техническая характеристика маслоотжимного агрегата РЗ-МОА

Производительность техническая при переработке семян подсолнечника масличностью около 50%, т/сут	150–300
Установленная мощность приводов, кВт	182
Корректированный уровень звуковой мощности, дБ	80
Занимаемая площадь, м ²	22,39
Габаритные размеры агрегата, мм	5715 × 3910 × 8330
Масса агрегата, кг	38 000

– маслопресс оборудован сборным шнеком масла и зерновой осыпи, который приводится в действие от шнекового вала;

– разборка полуцилиндров зерновой камеры механизирована и двумя рабочими выполняется за 20 мин.

Жаровня (рис. 7.6) состоит из семи чанов 2 с обогреваемыми паром обечайками и днищами, пароподводящей и пароотводящей систем, аспирации, опоры 1, поддона, вала с мешалками, привода.

Температура обрабатываемого материала контролируется с помощью электронного автоматического моста термометрами сопротивления, установленными в каждом чане. На валу закреплены мешалки: в чанах с первого по шестой каждая мешалка состоит из двух ножей, в седьмом — из четырех. Вал установлен в подшипниках скольжения, закрепленных на днищах первого, четвертого и седьмого чанов, и опирается на подшипник, находящийся в корпусе, вынесенном за днище седьмого чана. Все чаны снабжены люками 3, которые закрываются дверцами. На дверце второго чана имеется лючок 5 для отбора проб материала. В днищах чанов с первого по шестой имеются окна 4, закрывающиеся клапанами типа Линка. Быстрый подогрев и увлажнение мятки в верхнем чане осуществляются через отверстия в трубах 9, укрепленных на ножах 10 мешалки. Пароподводящая система состоит из коллектора 14 для подачи пара в обогреваемые полости чанов, предохранительного клапана 15, вентилей и манометра. Через паропровод 16 осуществляется при необходимости увлажнение пересушенной мезги в седьмом чане.

Для противопожарной безопасности предназначен паропровод 12. Пароотводящая система состоит из паропроводов 18, коллектора 19, вентилей и конденсатоотводчика 13, а также паропровода 11 для подачи пара в трубки ножей верхнего чана.

Аспирация состоит из трубы 6, патрубки которой соединены с патрубками чанов, и вентилятора 17, соединенного с трубой-переходником и коленом. Для отвода сконденсировавшейся жидкости в нижней части трубы имеется воронка. Регулирование количества отводимых из каждого чана паров обеспечивается шибером, установленным в патрубке, а так-

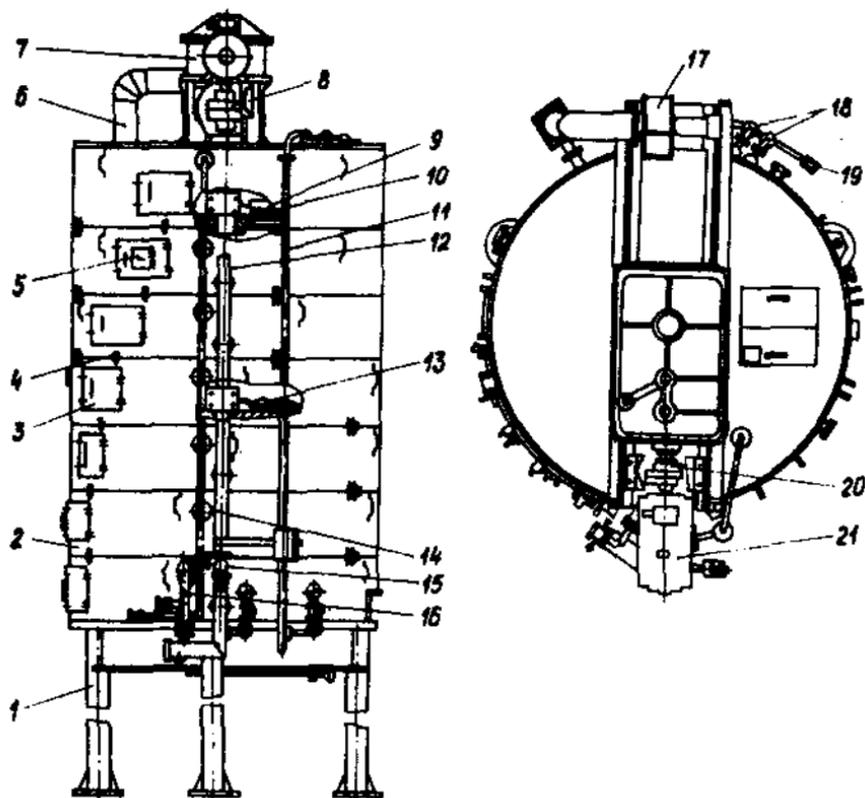


Рис. 7.6. Жаровня маслоотжимного агрегата РЗ-МОА

же изменением проходного сечения переходника поворотным диском. Для чистки трубы и патрубков в трубе имеются окна, закрываемые шиберами. Привод жаровни состоит из электродвигателя 21 и редуктора 7, смонтированных на раме, муфт 8 и 20. Упругая муфта 20 соединяет вал двигателя с быстроходным валом редуктора и состоит из двух полумуфт и диска, скрепленных пальцами и гайками. Предохранительная муфта 8 соединяет тихоходный вал редуктора с валом жаровни и состоит из двух муфт, в пазах которых установлены срезные шпонки. Редуктор трехступенчатый, коническо-цилиндрический, предназначенный для изменения частоты вращения и крутящего момента в приводе, состоит из корпуса и крышки, в которых на подшипниках качения установлены валы с зубчатыми колесами. На крышке имеется окно для залива масла, закрываемое крышкой, на которой смонтированы сапун для сообщения внут-

Техническая характеристика жаровни агрегата РЗ-МОА

Диаметр чана внутренний, мм	3000
Высота слоя материала в чане, мм	300–400
Рабочее давление насыщенного пара в обогреваемых полостях, МПа	0,55–0,6
Частота вращения вала, с ⁻¹ (об/мин)	0,35 (22)
Мощность привода вентилятора, кВт	1,5
Габаритные размеры, мм	4150 × 3235 × 8330

ренной полости редуктора с атмосферой и маслоуказатель. Для слива масла из редуктора имеется пробка.

Питатель предназначен для подачи мезги в маслопресс с предварительным ее уплотнением. Мезга из жаровни (рис. 7.7) шнеком 10 подается на приемный виток шнекового вала маслопресса, частично уплотняясь при этом, отжатое масло вытекает через щели зерновых пластин 32. В корпус ввинчиваются пальцы 11, препятствующие провороту мезги. Клапан 7 установлен в раме 4 на валу и перекрывает окно для выхода

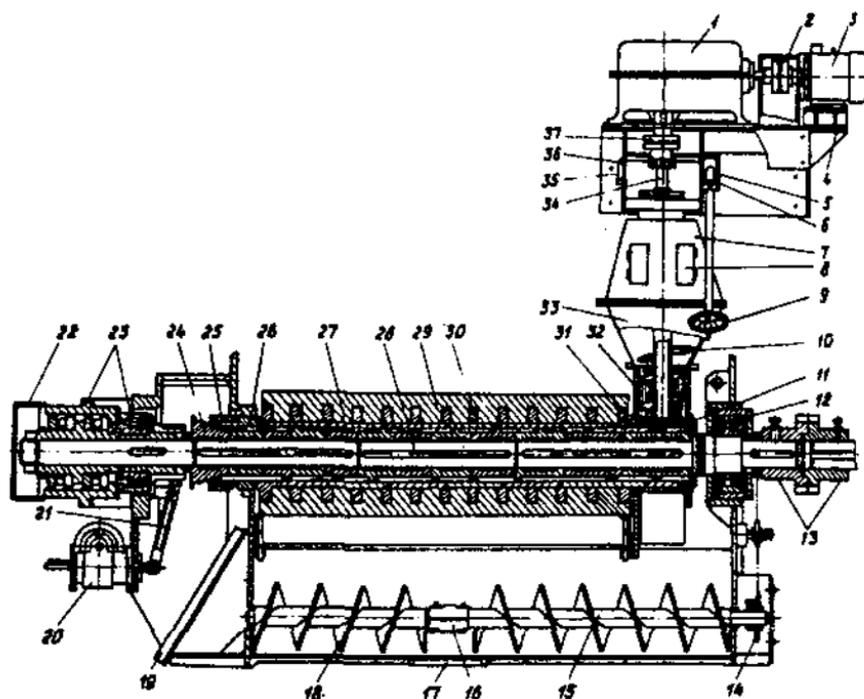


Рис. 7.7. Питатель и маслопресс маслоотжимного агрегата РЗ-МОА

мезги из чана. Открытие окна осуществляется при помощи маховика 9, винта 6, ползуна 5. Стрелка 35 по шкале 36 указывает положение клапана. Для контроля за поступлением мезги предусмотрен лючок 8. Рама 4 питателя крепится к жаровне, а опора 31 — к маслопрессу. Привод питателя состоит из двигателя 3 и редуктора 1, смонтированных на раме 4, муфты 2 и муфты 37. Упругая муфта 2 соединяет вал двигателя с быстроходным валом редуктора и состоит из полумуфт и диска, скрепленных пальцами с гайкой. Предохранительная муфта 37 соединяет тихоходный вал редуктора с валом питателя 34 и состоит из полумуфт, в пазах которых установлены срезные шпонки. Двухступенчатый коническо-цилиндрический редуктор 1 предназначен для изменения частоты вращения и крутящего момента в приводе питателя. Он состоит из корпуса и крышки, в которых на подшипниках качения смонтированы валы с зубчатыми колесами. На крышке имеется окно для залива масла, закрываемое крышкой с маслоуказателем и сапуном.

Маслопресс (см. рис. 7.7) состоит из следующих основных узлов: станины, вала шнекового 28, камеры зерновой 27, маслосборных шнеков 15, 18, редуктора и электродвигателя, которые здесь не показаны.

Из предварительно уплотненной питателем мезги в маслопрессе осуществляется отжим масла. Отжатое масло вытекает через зазоры зерновых пластин камеры в маслосборник станины, откуда вместе с зерновой осыпью шнеками 15, 18 подается через отверстие 17 в магистраль цеха. Жмых выходит из маслопресса по листу 19. Станина представляет собой сварную конструкцию. Шнековый вал состоит из смонтированных на валу десяти шнеков, втулок и конуса 24, подшипниковых узлов 12, 23. Шнеки и конус установлены на шпонках 26. Зерновая камера включает в себя два полукорпуса, скрепленные между собой струбцинами, зерновые пластины и ножи с разъемом в горизонтальной плоскости. Полукорпуса состоят из балок 29 и бугелей 30, сваренных между собой. Зерные пластины, закрепленные в полукорпусах, образуют зерную камеру 27 с зазорами для выхода масла.

Для предотвращения проворачивания мезги при работе маслопресса предусматривается установка ножей, имеющих выступы, направленные внутрь зерновой камеры. На двух бугелях в полукорпусах выполнены пазы под ключ для отрыва полукорпусов друг от друга в случае слипания их в процессе работы. На каждом полукорпусе между бугелями имеется по две такелажных скобы.

Червячный редуктор 20, предназначенный для перемещения обоймы 25 с целью изменения толщины ракушки, состоит из литого корпуса, винта, ввинченного в червячное колесо, червяка и маховика 21. Привод маслопресса включает в себя электродвигатель, редуктор, установленные на раме, и две муфты. Упругая муфта соединяет вал двигателя и вал ре-

дуктора и состоит из двух полумуфт и диска, скрепленных пальцами с гайками.

Предохранительная муфта соединяет шнековый вал с редуктором и включает в себя полумуфты 13, в пазах которых находятся срезные шпонки. Облицовка маслопресса состоит из крышек, закрывающих рабочую зону в станине, и кожухов, ограждающих вращающиеся детали. Шнеки 15, 18 соединены между собой муфтой 16. Звездочка 14 вала шнеков приводится во вращение цепной передачей от шнекового вала.

Техническая характеристика пресса РЗ-МОА

Производительность по семенам (при масличности жмыха около 20%), т/сут	300
Частота вращения шнекового вала, об/мин	75
Диаметр зерной камеры, м	0,25
Мощность приводного электродвигателя маслопресса, кВт	110

Высокопроизводительный маслопресс РЗ-МОА превосходит маслопресс МП-68 по удельным показателям:

- производительности на единицу площади цеха в 1,87 раза;
- потреблению электроэнергии на 1 т переработанных семян в 1,24 раза;
- металлоемкости на 1 т переработанных семян в 1,74 раза;
- технической производительности на 1 работающего в 2 раза.

Обслуживание маслопрессов

Рассмотрим общие особенности эксплуатации шнековых прессов. Прежде чем пустить в работу, шнековый пресс осматривают с целью выявления посторонних предметов. При этом проверяют правильность сборки узлов пресса и подключения фаз к электродвигателям пресса и питателя, что обеспечивает правильное направление вращения (шнековый вал должен вращаться против часовой стрелки, если смотреть со стороны выхода жмыха, а вал питателя — по часовой стрелке, если смотреть со стороны входа мезги). Перед пуском конус пресса отводят полностью. Прокрутив от руки привод пресса и питателя, убеждаются в плавности хода.

Пуск осуществляют вначале на холостом ходу, собственно включение производят после предупреждения всех находящихся вблизи пресса. На холостом ходу контролируют показания амперметров, а также работу всех механизмов пресса. Убедившись в нормальной работе пресса, начинают небольшую подачу мезги в питатель.

Переход на рабочую подачу мезги осуществляют после прогрева шнекового вала и зеера, при этом достигается температура жмыха 60—65°С и

происходит отжим масла на всех ступенях. После этого переходят к постепенному зажатию конуса, что производят, внимательно наблюдая за показаниями амперметра. Если нагрузка на пресс превысила норму, немедленно уменьшают подачу мезги в питатель и, если этого недостаточно, отводят конус. Если это не дает результата, то пресс останавливают для выявления возможного дефекта.

Остановка пресса на срок более 10 мин сопровождается разборкой и очисткой зеера и шнекового вала. При более короткой остановке пуск возможен и без разборки и очистки, но при полностью отведенном конусе со всеми указанными предосторожностями.

Основные правила техники безопасности работы на прессе заключаются в следующем. Запрещается пускать пресс под нагрузкой при зажатом конусе. При появлении признаков неисправности (стук и т. п.) пресс останавливают. Если остановка не носит аварийного характера, то предварительно выработывают материал из рабочего объема пресса. Смазывают все трущиеся узлы пресса и редуктор. Не включают пресс без подключения магнитной защиты перед жаровней.

Вопросы теории и расчета шнековых прессов

Принцип отжима масла в шнековых прессах, как указывалось выше, заключается в следующем. Шнековый вал транспортирует маслянистый материал внутри зерного цилиндра, который набран из пластин с малыми зазорами между ними. Геометрия канала, образованного набором шнековых витков, позволяет снижать их свободный объем по ходу движения материала от загрузочной воронки до выходной щели пресса и тем самым подвергать материал сжатию. Сжатие материала влечет за собой повышение давления, при котором масло отжимается из мезги. Отжатое прессовое масло выходит из зоны прессования через щели между зерными пластинами, а отжатый материал — через кольцевой зазор на выходе зерного цилиндра.

Для определения производительности шнекового пресса известен подход, связанный с уточнением зависимости объемной производительности транспортного шнека, $\text{м}^3/\text{с}$

$$V = \varphi (\pi D^2/4) S n/60, \quad (7.1)$$

где φ — коэффициент наполнения; D и S — диаметр и шаг шнека, м ; n — число оборотов шнека, $\text{об}/\text{мин}$.

Уточнения этой зависимости в направлении учета специфики шнековых прессов заключаются в следующем.

1) Для шнекового пресса D и S являются переменными, и в расчет рационально принять эти значения для первого (питательного) витка

(вместо S принять L — длину питательного витка, так как она меньше шага в шнековых прессах).

2) Так как разница между D и $D_{\text{зерн}}$ небольшая (2—3 мм), то можно заменить D на $D_{\text{з}}$, тогда $(\pi D_{\text{з}}^2/4)L$ — объем зерновой камеры на длине питательного витка.

3) В объеме зерновой камеры на длине питательного витка существенный объем занимает сам виток, и это учитывается коэффициентом заполнения ψ = объем витка/объем зерновой камеры, тогда свободный объем питательного витка $(\pi D_{\text{з}}^2/4)L(1 - \psi)$.

Коэффициент ψ для разных прессов разный (для ФП $\psi = 0,312$; для ЕП $\psi = 0,55$).

В расчетах шнековых прессов $\varphi = 1$, тогда секундная транспортная производительность принимает вид

$$V = (\pi D_{\text{з}}^2/4)L(1 - \psi)n/60. \quad (7.2)$$

Практически важна массовая часовая производительность, кг/ч

$$Q_{\text{т}} = 3600 (\pi D_{\text{з}}^2/4)L(1 - \psi)\rho_{\text{п}}n/60 = 47,1D_{\text{з}}^2L(1 - \psi)\rho_{\text{п}}. \quad (7.3)$$

Эта транспортная производительность не учитывает ряд явлений, имеющих место в шнековом прессе:

- 1) мезга частично проворачивается вместе со шнековым валом;
- 2) между кромкой витка и внутренней поверхностью зсера имеется зазор;
- 3) спиральная нитка на витке не имеет полного шага (образуется неперекрываемый центральный угол).

Все это вызывает возврат потока мезги, и это подтверждается следующим:

- 1) время фактического прохождения мезги по зеру всегда больше расчетного;
- 2) форма износа нитки (больше износ со стороны передней грани витка);
- 3) при изменении положения регулировочного устройства на выходе из пресса изменяется производительность пресса;
- 4) по мере износа пресса его производительность уменьшается.

Поэтому предлагается ввести в выражение зависимости производительности (кг/ч) коэффициент возврата $K_{\text{в}}$, который должен учесть вышеприведенные явления в шнековом прессе

$$Q = 47,1D_{\text{з}}^2L(1 - \psi)\rho_{\text{п}}n(1 - K_{\text{в}}). \quad (7.4)$$

Коэффициент возврата может быть определен только экспериментально, и для пресса ФП установлена его зависимость от ширины выходной щели регулировочного устройства (δ , мм)

$$K_g = 2,15/\delta^{0,58}. \quad (7.5)$$

Для перехода к производительности по семенам (кг/ч) надо учесть выход мезги V_m (%):

$$Q = 4710D_3^2L(1 - \psi)\rho_n n (1 - K_g)/V_m. \quad (7.6)$$

Из полученной зависимости следуют важные для практики выводы:

- 1) производительность в наибольшей степени зависит от D_3 (в квадрате);
- 2) для увеличения производительности надо повышать ρ_n (в частности, за счет подпрессовывания мезги на входе в пресс);
- 3) коэффициент возврата надо уменьшать (за счет поддержания исправного состояния витков и ножей);
- 4) увеличение n — также существенный фактор повышения производительности.

Все вышеперечисленные факторы влияют и на отжим масла. На практике при эксплуатации пресса основными регулирующими параметрами являются n и δ .

В шнековом канале пресса изменяются свойства масличного материала: плотность, размеры и гранулометрический состав частиц, количество масла внутри частиц и в межчастичных порах, прочность, реология. Эти изменения в большой степени затрудняют анализ процессов прессования и отжима и не позволяют перевести проектирование прессов новых конструкций на четкую методическую основу.

Эффективным способом получения информации для проектирования прессов может служить математическое моделирование. Создание математической модели позволяет изучить процесс не на физической, а непосредственно на математической модели с помощью ЭВМ. На рис. 7.8 и 7.9 представлены расчетная схема и геометрия витков шнекового пресса.

Теоретические основы расчета работы маслопресса описываются в следующем виде. Осевой поток неньютоновской жидкости в прессе на каждом отдельно взятом витке выражается формулой, принятой в теории экструдирования

$$Q_{xi} = \pi DW(H - \delta)N \cos(\theta)(f_d/2) - (H^3 W f_{ps} f_{pd} / 12 \eta \mu_c)(dP/dX), \quad (7.7)$$

где Q_{xi} — осевой поток неньютоновской жидкости в экструдере, m^3/c (i — номер витка); D — диаметр зеера, м; H — глубина витка, м; W — ширина витка (через шаг S , $W = S \cos\theta$), м; δ — зазор между краем витка и поверхностью зеера, м; $\theta = \arctg S/\pi(D - 2\delta)$ — угол наклона нитки витка, радиан; N — скорость вращения шнекового вала, c^{-1} ; n — показатель степенного закона в уравнении течения неньютоновской жидкости (мате-

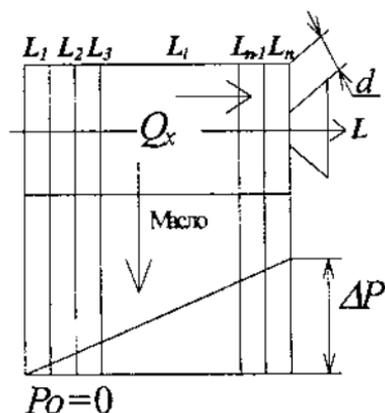


Рис. 7.8. Расчетная схема маслоотжимного пресса

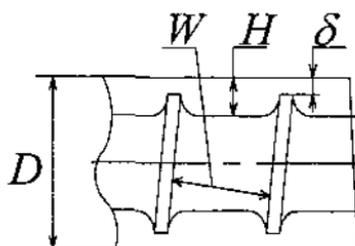


Рис. 7.9. Схема принятого обозначения геометрии витка

риала) — например, для неизмельченных семян рапса $n = 0,1298$; μ_c — вязкость неньютоновской жидкости, (Па · с); P — давление, вызванное валом, Па; X — расстояние вдоль шнекового канала, м.

При этом $f_d = 1 - (0,487n^2 - 0,948n + 0,972)H/W$ — коэффициент формы вынужденного потока; $f_{ps} = 1 - (0,949n^2 - 1,87n + 1,59)H/W$ — коэффициент формы для противотока, вызванного сопротивлением выходного устройства; $f_{pd} = 0,98$ (для области, представляющей интерес) — корректирующий коэффициент для средней вязкости в потоке.

Таким образом, уравнение (7.7) применимо к осевому потоку в маслопрессе, если маслянистый материал принимается как неньютоновская жидкость. Поток масла на элементарном участке длины dX , направленный наружу, может быть представлен уравнением фильтрации

$$Q_n = \pi D d X u_f = \pi D d X P / (\alpha_s \mu_s m_s), \quad (7.8)$$

где u_f — скорость потока масла на поверхности зеера; α_s — удельное сопротивление фильтрации; μ_s — вязкость масла, m_s — масса твердых частиц в канале шнека (на единицу площади зеера). Нижний индекс s относится к твердой фазе, l — к жидкой фазе.

Из материального баланса на элементарном участке пресса:

$$Q_{sl} \rho_c = (Q_{sl} + dQ_{sl}) \rho_c + Q_n \rho_l, \quad (7.9)$$

где ρ — плотность (индексы: s — маслянистый материал; l — масло).

Комбинируя уравнения (7.8) и (7.9), после преобразования получаем:

$$-dQ_x/dX = [\pi D P / (\alpha_s \mu_s m_s)] (\rho_l / \rho_c). \quad (7.10)$$

Система уравнений (7.7) и (7.10) может использоваться для оценки производительности и скорости отжима масла, если развивающееся давление в прессе известно.

Система уравнений (7.7) и (7.10) может быть преобразована к виду (индекс при Q опускается)

$$dP/dX = A - Q/B \quad (7.7a)$$

$$-dQ/dX = CP, \quad (7.10a)$$

где $A = [\pi DW(H - \delta)N \cos(\theta)(f_d/2)]/[H^3 W f_{ps} f_{pd}/12n\mu_c]$; $B = H^3 W f_{ps} f_{pd}/12n\mu_c$;
 $C = [\pi D/(\alpha_s \mu_s m_s)](\rho_s/\rho_c)$.

Уравнение (7.7a) преобразуется к виду

$$Q = AB - BdP/dX.$$

После его дифференцирования

$$dQ/dX = -Bd^2P/dX^2$$

и подстановки последнего уравнения в (7.10a) система (7.7a) и (7.10a) может быть сведена к одному дифференциальному уравнению второго порядка

$$d^2P/dX^2 = (C/B)P.$$

Правая часть уравнения не зависит от X, т.е. уравнение имеет вид

$$d^2P/dX^2 = \varphi(P),$$

где $\varphi(P) = (C/B)P$.

В этом случае положим $v = dP/dX$, тогда

$$d^2P/dX^2 = dv/dX = (dv/dP)(dP/dX) = v (dv/dP) = (1/2) d(v^2)/dP.$$

Уравнение переписывается так:

$$(1/2) d(v^2)/dP = \varphi(P),$$

откуда

$$v^2 = 2 \int \varphi(P) dP \text{ и } v = dP/dX = \sqrt{2 \int \varphi(P) dP}.$$

Для нашего случая

$$dP/dX = \sqrt{2 \int (C/B)P dP} = \sqrt{(C/B)P^2} = PD,$$

где $D = \sqrt{(C/B)}$.

Интегрируем для первого прессующего витка

$$\int_{P_0}^P \frac{dP}{P} = \int_0^X D dX.$$

Получаем $\ln P/P_0 = DX$ или

$$P = P_0 \exp(DX). \quad (7.11)$$

После подстановки в (7.10а) $-dQ/dX = CP_0 \exp(DX)$ интегрируем (изменяя пределы интегрирования по Q устраним знак « \leftarrow »)

$$\int_Q^{Q_0} dQ = \int_0^X CP_0 \exp(DX) DX.$$

Получаем $Q_0 - Q = (CP_0/D) [\exp(DX) - 1]$ или

$$Q = Q_0 - (CP_0/D) [\exp(DX) - 1]. \quad (7.12)$$

Уравнения (7.11) и (7.12) являются аналитическими решениями исходных дифференциальных уравнений (7.7) и (7.10) и справедливы в пределах одного витка с постоянными геометрическими параметрами, что делает постоянными коэффициенты в полученных решениях. При переходе последовательно на последующие витки расчет ведется по уравнениям (7.11) и (7.12) с соответственно другими коэффициентами и начальными значениями P_0 и Q_0 берутся по расчетам в конце предыдущего витка.

Развитие давления происходит из-за присутствия конечного ограничения в выходной щели и задается соотношением

$$P = K_c K_d Q_{отв}^n, \quad (7.13)$$

где K_c — индекс консистенции материала (K_c константа); K_d — фактор геометрии выходной щели (K_d константа); нижний индекс «отв» при Q относится к ширине выходной щели, и в конце секции отжима $Q_{отв}$ равен Q_x .

Для выходной щели в виде кольцевого отверстия соотношение между перепадом давления и расходом имеет вид:

$$\Delta P = (2KL/R)[(2n+1)/(\pi R^2 n)]^n (R/d)^n Q^n \exp(-aF) \exp[b/(T+273)], \quad (7.14)$$

где L — длина щели, R — внешний радиус щели (кольцевое отверстие) и n — показатель степени члена (R/d) в уравнении (7.14). После логарифмирования уравнение (7.14) приобретает следующую форму:

$$\ln \Delta P = A' + n' \ln(R/d) + n \ln(Q) - aF + b/(T+273), \quad (7.15)$$

где A' — константа.

Экспериментальные исследования позволили определить неизвестные коэффициенты уравнения (7.15), и уравнение приняло вид

$$\Delta P = 2,39 \cdot 10^6 (R/d)^{0,269} Q^{0,1298} \exp(-18,39F) \exp[1476/(T+273)]. \quad (7.16)$$

Содержание масла в прессуемом материале в любой точке вдоль вала может быть вычислено как

$$F = 1 - (1 - F_0) (Q_{0p_{c0}}/Q_x p_{cx}), \quad (7.17)$$

где F — масличность прессуемого материала, выраженная в долях; нижний индекс 0 относится к началу секции отжима.

Так как вал состоит из отдельных витков, то вычисления производятся последовательно по каждому витку, чтобы вычислить значения Q , P и F в конце каждого витка.

В расчете для первого прессующего витка принимается значение Q_0 , а начальное значение давления во всех случаях берется из расчета уплотнения на приемном витке

$$P_0 = (A_0 + Q_0/B_0)X_0 \quad (7.18)$$

Масличность в каждой точке вычисляется с помощью уравнения (7.17). Вязкость, сопротивление фильтрации и плотность масляного материала оцениваются в конце каждого витка, используя значения P и F , и затем используются для вычисления Q , P и F для следующего витка.

Эта процедура повторяется, пока не будет достигнут конец секции отжима. Конечное значение P используется, чтобы вычислить $Q_{\text{отв}}$ для выходной щели по уравнению (7.16). Это $Q_{\text{отв}}$ сверяется с $Q_{\text{кон}}$, полученным в конце секции отжима. Если ошибка больше заданной величины (обычно 2,0%), начальное значение Q_0 изменяется соответственно, и вся процедура вычисления повторяется, пока различие между $Q_{\text{отв}}$ и $Q_{\text{кон}}$ не укладывается в допустимую разницу. Значения Q_0 и $F_{\text{кон}}$ используются для вычисления производительности и остаточной масличности:

$$Q_{\text{п}} = Q_0 \rho_{\text{со}} \cdot 3600 \quad (7.19)$$

$$M_{\text{к}} = F_{\text{кон}} \cdot 100, \quad (7.20)$$

где $Q_{\text{п}}$ — производительность пресса, $M_{\text{к}}$ — остаточная масличность в жмыхе.

Необходимые для расчета зависимости свойств:

— плотность прессового масла

$$\rho_1 = 0,91 \cdot 10^3; \quad (7.21)$$

— плотность жмыха в зависимости от масличности в пределах 7,5—31%

$$\rho_c = (1,451 - 0,703F) \cdot 10^3; \quad (7.22)$$

— вязкость масла

$$\mu_1 = 4,6 \cdot 10^{-3} \exp [200,9/(T + 50)]; \quad (7.23)$$

— вязкость массы измельченного масляного материала внутри пресса

$$\mu_c = K_c (\gamma)^{n-1} = K (\gamma)^{n-1} \exp(-aF) \exp[b/(T + 273)], \quad (7.24)$$

где $\gamma = \pi DN \cos\theta/H$ — скорость сдвига масляного материала внутри шнекового канала; a и b — коэффициенты; T — температура.

Замена соответствующих коэффициентов по результатам экспериментов приводит к уравнению вида

$$\mu_c = 2,49 \cdot 10^5 (\gamma)^{-0,8702} \exp(-18,39F) \exp[1476/(T + 273)]. \quad (7.25)$$

Удельное сопротивление фильтрации зависит от давления по соотношению

$$\alpha_s = 4,3 \cdot 10^9 + 0,8 \cdot 10^3 P. \quad (7.26)$$

Чтобы учесть сопротивление отжиму на уровне отдельных частиц прессуемой массы в расчетах, рекомендуется с учетом экспериментальных данных использовать эффективное удельное сопротивление фильтрации

$$\alpha_{\text{эф}} = 100 \alpha_s, \quad (7.27)$$

Масса твердых частиц на единицу площади фильтрации дается соотношением

$$m_s = \rho_s H_c (1 - \varepsilon) = \rho_s (H + 0,003)/(1 + e), \quad (7.28)$$

где $e = [F/(1 - F)] \rho_s / \rho_l$.

В уравнении (7.28) ε — пористость (объемная доля масла в прессуемой массе) и e — отношение объемных долей масла и твердых частиц. Эффективная высота твердой массы должна быть принята $(H + 0,003)$ для учета твердых частиц в зазорах зерна средней величины (приблизительно 3 мм).

Для вычислений при моделировании важным является задание геометрических параметров пресса. При поверочном расчете пресса с известной геометрией витков их размеры берутся как исходные данные. При проектном расчете целесообразно на начальном этапе выполнить моделирование с непрерывными зависимостями. Так, соответствующие расстояния по винтовому каналу (X) связаны с расстоянием по оси вала (Z) через угол подъема нитки витка (θ)

$$X = Z/\sin\theta. \quad (7.29)$$

Высота и ширина винтового канала могут быть выражены как функции расстояния канала

$$H = A_1 - B_1 (X - C_1)^{D_1}, \quad (7.30)$$

$$W = A_2 - B_2 X^{D_2}, \quad (7.31)$$

где $A_1, B_1, C_1, D_1, A_2, B_2, D_2$ — постоянные коэффициенты.

В этом случае система уравнений (7.7) и (7.10) может быть проинтегрирована численно.

Расчет мощности, необходимой для работы пресса, ведется по отдельным статьям.

1) Мощность, расходуемая на сжатие мезги.

Расчет ведется на основе интегрирования компрессионной зависимости $P = a\epsilon^n$, где ϵ — степень сжатия (отношение первоначального свободных объема мезги к конечному).

По экспериментальным данным эта зависимость имеет вид

$$P = 2,52 b\epsilon^{5.5} / \exp(0,022W), \quad (7.32)$$

где W — влажность мезги, %; b — эмпирический коэффициент, зависящий от влажности мезги и температуры ее жарения. Например, при $W = 3,5\%$ коэффициент b имеет следующие значения:

Температура, °C	80	90	100
Коэффициент b	0,00085	0,001	0,0006

Удельная работа (Дж/кг) сжатия мезги определяется путем интегрирования уравнения (7.32) в пределах граничных условий от первоначальной степени сжатия $\epsilon_1 = 1$ до конечной ϵ_2 :

$$R_{\text{уд}} = A \int_{\epsilon_1}^{\epsilon_2} [2,52b\epsilon^{5.5} / \exp(0,022W)] d\epsilon = [0,388b \cdot 10^6 / \exp(0,022W) \rho_{\text{м}}] (\epsilon_2^{6.5} - 1),$$

где A — коэффициент, учитывающий размерности величин.

Мощность на сжатие Q , кг при скорости вращения вала n , об/мин

$$N = 0,388 \cdot 10^6 b Q n (\epsilon_2^{6.5} - 1) / [60 \exp(0,022W) \rho_{\text{м}}]$$

2) Мощность, необходимая на преодоление сил трения между сжимаемой мезгой и вращающимся шнековым валом.

Предварительно необходимо рассмотреть силы, действующие на витке (рис. 7.10). Нормально направленный вектор может быть разложен по трем координатным осям. В результате разложения этого вектора получаем три давления:

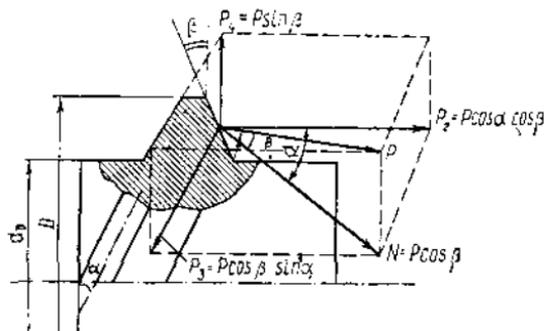


Рис. 7.10. Силы, действующие на витке шнека

$P_2 = P \cos \alpha \cos \beta$ — давление витка на мезгу, направленное вдоль оси шнекового вала;

$P_3 = P \cos \beta \sin \alpha$ — давление, направленное против вращения шнекового вала;

$P_4 = P \sin \beta$ — радиальное давление, направленное от вала к внутренней поверхности зерного барабана.

Как известно, при сжатии тела в замкнутом пространстве силой, нормально направленной к поверхности сжимаемого тела, будет создаваться также радиальное давление

$$P = kP_n,$$

где P_n — нормальное давление; $k = \sigma / (1 - \sigma)$ — коэффициент бокового давления; σ — коэффициент Пуассона (для порошкообразных материалов $\sigma = 0,28-0,32$).

Таким образом, создаваемое радиальное давление

$$P' = kP \cos \alpha \cos \beta.$$

Следовательно, полное удельное радиальное давление

$$P_p = P_4 + P' = P(k \cos \alpha \cos \beta + \sin \beta).$$

При относительном движении прессуемого материала и витка возникают силы трения.

$$T = fN = fP \cos \beta,$$

где f — коэффициент трения мезги о поверхность витка.

Следовательно, суммарное давление в направлении P_3

$$P_3' = P (\cos \beta \sin \alpha + f \cos \beta).$$

После проведенного анализа системы сил на витке можно определить мощность, необходимую для вращения шнекового вала. Сила, давящая на нитку витка (H)

$$S = F_b P_3' = [F_b P (\cos \beta \sin \alpha + f \cos \beta)] \cdot 10^6,$$

где $F_b = (\pi/4)(D^2 - d^2)(360 - \Theta)/360$ — боковая проекция площади витка (D и d — наружные диаметры нитки и тела витка; Θ — угол разрыва).

Сила S приложена на расстоянии от оси шнекового вала, равном среднему радиусу витка

$$r_{cp} = (D + d)/4.$$

Следовательно, сила S будет создавать крутящий момент

$$M_{кр} = S r_{cp}.$$

Соответственно мощность (кВт), необходимая на вращение рассматриваемого витка

$$N_2 = S r_{cp} n / 9750.$$

Давление на каждом витке различное и данная статья мощности рассчитывается по каждому витку отдельно.

3) Мощность, необходимая на преодоление сил трения между движущейся мезгой и внутренней поверхностью зеера.

Сила (Н), действующая на внутреннюю поверхность зеера

$$A = (P_p F_3) \cdot 10^6,$$

где $P_p = P (k \cos \alpha \cos \beta + \sin \beta)$ — полное удельное радиальное давление; $F_3 = \pi D_3 L$ — площадь зеера на длине витка (D_3 и L — диаметр зеера и длина витка).

Сила трения мезги о поверхность зеера

$$T = f A.$$

Мощность (кВт), необходимая на преодоление сил трения между движущейся мезгой и внутренней поверхностью зернового цилиндра

$$N = T v_m \cdot 10^{-3},$$

где $v_m = nS/60$ — скорость перемещения мезги вдоль поверхности зернового цилиндра (n — частота вращения вала, об/мин; S — шаг нитки, м).

Этот расход энергии необходимо рассчитывать для каждого витка в отдельности.

4) Мощность, необходимая на преодоление сил трения в подшипниках.

Момент трения (Н · м) в шариковом упорном подшипнике может быть определен по формуле

$$M_{тр} = Q_n f_y \pi d_{ш}/2,$$

где Q_n — нагрузка на подшипник, Н; f_y — условный коэффициент трения: при значительных нагрузках $f_y = 0,0015-0,0020$, при малых нагрузках $f_y = 0,0020-0,0030$; $d_{ш}$ — диаметр окружности, по которой расположены шарики в подшипнике.

Зная момент трения и частоту вращения шнекового вала, можно найти необходимую мощность (кВт) для преодоления трения

$$N_4 = Q_n f_y n \pi d_{ш}/2 \cdot 60 \cdot 1000.$$

5) Мощность, необходимая на разрушение вторичных структур мезги и на частичное ее дробление на ножах и при переходе через нитку, определяется умножением суммарной мощности на шнековом валу пресса на коэффициент перемешивания

$$N_n = (N_1 + \sum N_2 + \sum N_3) K_n,$$

где K_n — коэффициент перемешивания ($K_n = 1,416 - 0,04\delta$; δ — ширина выходной щели, мм).

Мощность на выходном валу редуктора

$$N_p = N_b + N_4.$$

б) Мощность, необходимая на преодоление сил трения в редукторе, учитывается коэффициентом полезного действия редуктора

$$N_{пр} = N_p / \eta_p.$$

Расчет мощности для экструдеров проводится также по следующим статьям расхода:

- мощность, расходуемая в виде работы сил внутреннего трения;
- мощность, расходуемая на увеличение давления;
- мощность, расходуемая в кольцевом зазоре в виде работы сил вязкого трения.

Расчет приращения мощности на каждом витке может вестись последовательно по каждому витку

$$dZ = [\pi^2 D^2 N^3 W \eta_{\mu_e} / H] [F_z \cos^2 \theta + 4 \sin^2 \theta + (H \mu_e / W \delta \eta_{\mu_e})] dX + ABdP. \quad (7.33)$$

Контрольные вопросы

1. Каков принцип работы шнекового пресса?
2. Какое различие между прессами для предварительного и окончательного прессования?
3. Какие основные узлы шнекового пресса?
4. Что представляет собой зерная планка, и как из зерных планок собран зерный барабан?
5. Как регулируется давление в шнековом прессе?
6. Как устроен шнековый вал?
7. Как устроен и работает маслопресс МП-68?
8. Как устроен и работает маслопресс ЕТП-20?
9. Каковы особенности маслоотжимного агрегата РЗ-МОА?
10. Каковы особенности эксплуатации и техники безопасности работы на шнековых прессах?

ГЛАВА 8.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРОДУКТОВ ПРЕССОВАНИЯ (МАСЛА И ЖМЫХА)

Оборудование для очистки прессового масла

Схема и аппараты для первичной очистки прессового масла. Полученное прессованием масло, представляющее собой суспензию с твердыми частицами маслячного материала, необходимо очистить. Разделение суспензий, как известно, производят методами отстаивания и фильтрации. Причем отстаивание возможно как в поле гравитационных сил, так и в поле центробежных сил. На практике при первичной очистке растительных масел применяют все указанные методы. Например, одной из распространенных технологических схем первичной очистки масла является двухступенчатая схема (рис. 8.1): гущеловушка 11 — дисковый механизированный фильтр 5.

Кроме вышеуказанных основных аппаратов в схему включена центрифуга НОГШ-325 (поз. 3), назначение которой — предварительное обезжиривание выделенных на фильтре взвешенных частиц твердой фазы. Остальное оборудование (шнеки 1, 4, емкости 2, 5, 10, насосы 6, 7, 9) имеет вспомогательный характер.

Очистку масла по данной схеме производят в следующем порядке. Неочищенное прессовое масло транспортируется шнеком 1 в двойную механическую гущеловушку для очистки от крупных взвешенных частиц. Отделенные частицы направляются обратно в чанные жаровни. Выходящее из гущеловушки масло дополнительно очищают в механизированных фильтрах, куда оно поступает через промежуточный бак и напорный бак 2. Создаваемый напор составляет 0,1—0,12 МПа, а температура масла, направляемого на фильтры, — 60—80°C. Фильтрованное масло является конечным продуктом первичной очистки и может быть направлено на дальнейшую переработку или — после охлаждения — на длительное хранение.

Перед удалением шлама с поверхности дисков фильтра нефильтованное масло откачивается насосом 6 обратно в напорный бак 2. Шлам,

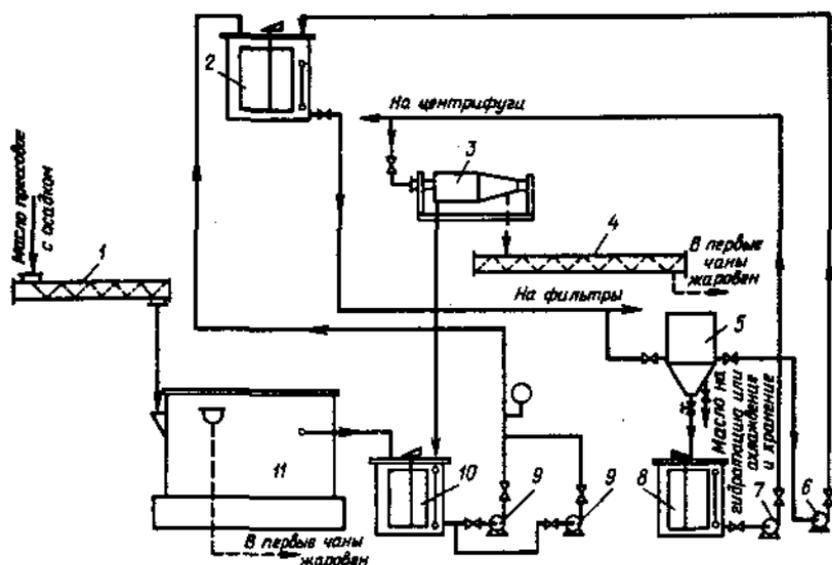


Рис. 8.1. Схема двухступенчатой первичной очистки прессового подсолнечного масла от твердых примесей с использованием механизированных фильтров

содержащий значительное количество масла, через емкость 8 насосом 7 подается на центрифугу 3, где происходит разделение на обезжиренный шлам, возвращаемый в жаровни, и масло, направляемое на фильтрацию.

Двойная механическая гущеловушка. Двойная механическая гущеловушка (рис. 8.2) обеспечивает удаление крупных взвешенных частиц отстаиванием. Гущеловушка представляет собой прямоугольную (в плане) емкость, которая разделена продольной перегородкой на два изолированных отсека 11 и 19. По периметру вертикального сечения гущеловушки на всю ее ширину проходит скребковый цепной механизм, состоящий из цепи 5 с прикрепленными к ней скребками в виде брусков 4. Цепь натянута на звездочках, расположенных по углам в обоих отсеках. Привод находится на крышке гущеловушки, от него через двойную звездочку 22 движение передается цепи 5 через звездочку 23 и шнеку шлама 3 через звездочку 21.

Неочищенное прессовое масло поступает в гущеловушку через карман 1 в первый отсек 11, где происходит предварительное отстаивание. Перегородка 2 препятствует смешиванию вновь поступившего масла с отстоявшимся и направляет поступающий поток вниз, что способствует лучшему отстаиванию.

Взвешенные частицы оседают на дно, где движущиеся с цепью 5 бруски 4 транспортируют их сначала по горизонтали вправо, а затем вверх до перегрузки на ситчатую поверхность 13 (диаметр отверстий 2 мм) первого отсека. Увлеченное со шламом масло здесь частично стекает, а шлам транспортируется далее по стальному листу 6 в шнек 3 для шлама. Вертикальная ветвь цепного транспортера ограничена перегородками (14 в первом отсеке и 17 во втором отсеке) от зоны спокойного отстоя.

Отстоявшееся в первом отсеке масло через щель 9 в продольной перегородке переливается во второй отсек. Сверху над щелью 9 расположен козырек 8, который предохраняет отстоявшееся масло от смешивания с маслом, стекающим из шлама. Попад в второй отсек, масло по лотку 10 направляется в нижнюю часть отсека. Осевший шлам так же, как и в первом отсеке, транспортируется скребковым цепным механизмом по сетчатой поверхности 7 в шнек 3 для шлама. Отвод очищенного масла происходит через патрубок 18.

Для полного опорожнения обоих отсеков имеются патрубки 15 и 16. Гушеловушка может работать в среде инертного газа для предохранения

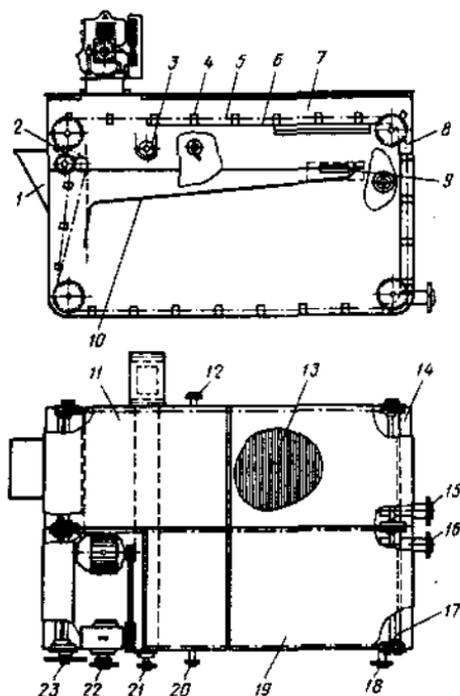


Рис. 8.2. Двойная механическая гущеловушка

Техническая характеристика гущеловушки

Производительность, т/ч	8—10
Содержание отстоя в очищенном масле, %	до 0,3
Мощность приводного электродвигателя, кВт	1,7
Частота вращения валов, об/мин:	
скребков	3,46
шнеков для шлама	21,6
Габаритные размеры гущеловушки, мм	2510 × 1615 × 1510

горячего масла от контакта с кислородом воздуха. При этом инертный газ подается через патрубок 12, а выходит через патрубок 20.

Подготовка к пуску гушеловушки заключается в проверке состояния ситчатой поверхности, а также наличия смазки в подшипниковых узлах. Убеждаются в отсутствии посторонних предметов в гушеловушке. Устанавливают ограждения вращающихся частей.

Обслуживание работающей гушеловушки заключается в обеспечении равномерной подачи масла. Следят, чтобы на ситчатой поверхности не скапливался шлам. При повреждении сит гушеловушку останавливают для их замены. При появлении признаков неисправности (стук и т.п.) гушеловушку также останавливают для выявления и устранения неисправности.

Правилами техники безопасности при эксплуатации гушеловушки запрещается: работать без ограждения вращающихся частей; обслуживать гушеловушку без спецплощадки с перилами; производить очистку и замену сетки без выключения скребкового механизма; продолжать работу на гушеловушке при появлении признаков неисправности; останавливать гушеловушку без полного опорожнения; производить ремонт, не обесточив ее привод.

Дисковый механизированный фильтр ФГДС. Дисковый механизированный фильтр ФГДС (рис. 8.3) имеет корпус 4, представляющий собой вертикальный цилиндр с коническим днищем 9. Внутри корпуса расположен полый вертикальный вал с набором фильтрующих дисков 3. Вал опирается на пяту 6 вала.

Диски выполнены из сетки и снаружи с обеих сторон обтянуты фильтровальной тканью. Между смежными дисками установлены распорные втулки и противоосадочные шайбы, между которыми уложены прокладки из фильтроткани. Для исключения проворачивания дисков относительно вала в продольные канавки диска и вала закладывают шпоночные стержни. В полой валу имеются радиальные отверстия для передачи профильтрованного масла из внутренней полости диска в полый вал. Снизу полый вал сообщается с патрубком 8 для выхода фильтрованного масла из фильтра. Вал с фильтрующими дисками может приводиться во вращение от привода 1 через клиноременную передачу.

В конической части корпуса на осевом валу закреплен нож мешалки-скребка 10 для облегчения выгрузки шлама через разгрузочный люк 12, на котором установлена специальная задвижка. Масло (с температурой 60...50°C) после гушеловушки поступает на фильтрацию через патрубок 2 внутрь корпуса. При заполнении фильтра маслом воздух вытесняется через патрубок 13. Масло проходит через поверхность фильтрации дисков и из их внутреннего пространства отводится из

фильтра через полый вал и патрубок для выхода масла.

На поверхности фильтрации дисков откладывается осадок (шлам), и по мере увеличения его количества в фильтре растет давление, которое контролируется манометром 14. Если давление на фильтре превысит 0,12 МПа, то он подлежит чистке.

В рабочем цикле фильтрации диски неподвижны, а при чистке включается привод и происходит центробежный сброс осадка с вращающихся дисков. Фильтроткань промывается горячим маслом, подаваемым форсунками противоточной трубы 5, которая соединена с подводящим патрубком 7. Выгрузку шлама из конуса производят при включенной мешалке 10 через разгрузочный люк 12. Недофильтрованное масло удаляется из корпуса через патрубок 11.

Перед пуском производят внешний осмотр фильтра и проверку

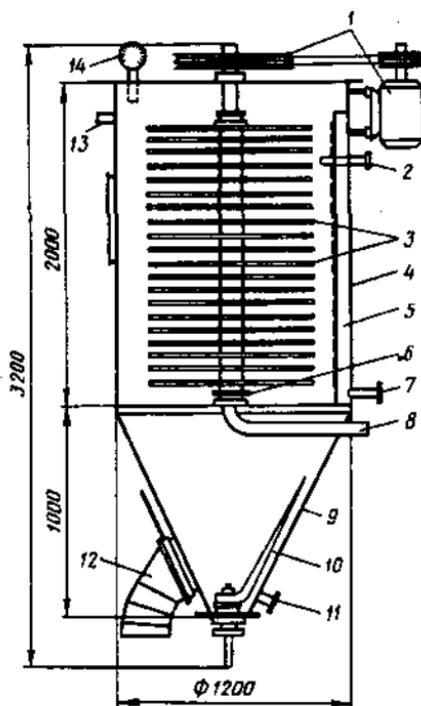


Рис. 8.3. Дисконый фильтр ФГДС

Техническая характеристика фильтра ФГДС

Производительность, т/ч	4—5
Отстой после фильтрации, %	до 0,05
Диаметр фильтрующих дисков, мм	900
Число дисков, шт.	21
Площадь фильтрации, м ²	25
Мощность привода вала, кВт	14
Частота вращения вала, об/мин	350
Габаритные размеры, мм:	
высота	3200
диаметр цилиндра	1200
Масса аппарата, кг	1500

исправности механизма вращения вала вместе с дисками. Прокручивают вручную за клиновые ремни вал фильтра с дисками. Если нет каких-либо заеданий и толчков, можно приступить к пуску.

При пуске последовательно закрывают задвижку на линии сброса шлама, закрывают вентиль для откачки недофильтрованного масла, открывают вентиль для выхода отфильтрованного масла и при открытом воздушном кране открывают вентиль для подачи мас-

ла на фильтр. После заполнения фильтра маслом воздушный кран закрывают.

Обслуживание фильтра заключается в контролировании степени очистки масла, а также температуры и давления, при которых происходит фильтрация. Периодически включают вращение вала с дисками для сброса шлама в конус фильтра. Для этого закрывают подачу масла в фильтр, открывают воздушную линию, производят слив из корпуса фильтра недофильтрованного масла, включают на 1–2 мин вращение вала с дисками для сброса шлама и затем при включенной мешалке выгружают шлам.

Остановку фильтра проводят после выгрузки шлама в описанной последовательности. Один раз в месяц очищают весь фильтр и заменяют фильтроткань на дисках.

Правилами техники безопасности работы на фильтре ФГДС запрещается: допускать к работе необученных лиц; работать на неисправном фильтре; работать без ограждения всех вращающихся частей; продолжать работу при возникшей неисправности, утечке масла через неплотности, повышении давления фильтрования более 0,12 МПа.

Центрифуга НОГШ-325. Эта центрифуга (рис. 8.4) в ранее представленной технологической схеме (см. рис. 8.1) выполняет вспомогательную функцию — дополнительный отжим увлеченного шламом масла. В других схемах очистки растительных масел центрифуга НОГШ-325 применяется непосредственно для отделения взвешенных частиц от масла. Так как при этом процесс отстаивания происходит в центробежном поле, он значительно интенсифицируется по сравнению с отстаиванием в поле гравитационных сил.

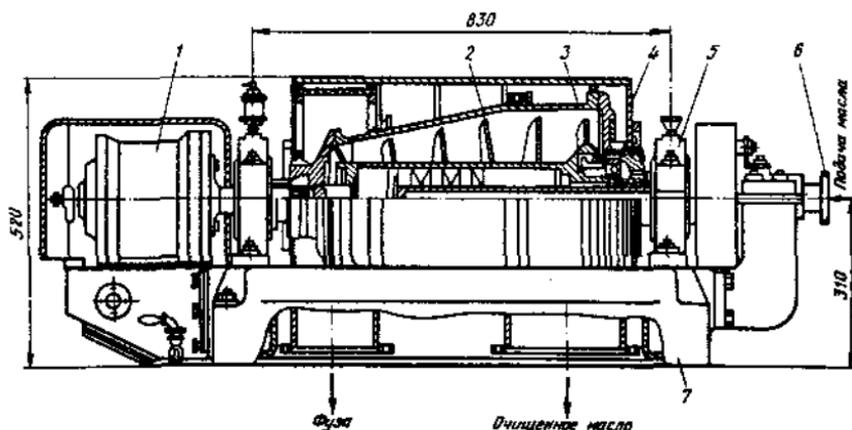


Рис. 8.4. Центрифуга НОГШ-325

Основным узлом центрифуги является установленный горизонтально на подшипниках 5 ротор 3. По форме он представляет собой цилиндр диаметром 325 мм, переходящий в усеченный конус. Общая длина ротора 540 мм. Сверху ротор закрыт кожухом 4, с торцов — крышками с цапфами, которые опираются на подшипники. Ротор вращается электродвигателем через клиноременную передачу.

Внутри ротора по оси расположен шнек 2, который обеспечивает при работе вывод шлама, осевшего на внутренние стенки ротора. Выгрузка шлама происходит через выгрузочные окна ротора, расположенные со стороны наименьшего диаметра ротора. Вращение шнеку передается от ротора через планетарный редуктор 1, который обеспечивает вращение шнека с небольшим проскальзыванием (около 1%) по отношению к ротору. Это обеспечивает транспортировку шлама шнеком относительно поверхности ротора. Ротор со шнеком, кожух, опоры, планетарный редуктор смонтированы на станине 7.

Суспензия на разделение поступает через питающую трубу 6, расположенную по оси ротора и проходящую внутрь его через полую правую цапфу. После поступления суспензии во вращающийся барабан твердые взвешенные частицы под действием центробежных сил осаждаются на внутреннюю поверхность ротора и направляются шнеком налево к выгрузочным отверстиям. Жидкая фаза перетекает между витками шнека и стремится остаться на наибольшем радиусе вращения, т.е. в цилиндрической части ротора. Для жидкости на большем диаметре ротора имеются сливные окна, через которые она выбрасывается в приемный отсек кожуха центрифуги. Таким образом, процесс разделения в центрифуге происходит непрерывно.

Техническая характеристика центрифуги НОГШ-325

Производительность при очистке масла, т/ч	2,0
Частота вращения ротора, об/мин	2500; 3000; 5500
Относительная частота вращения шнека, об/мин	16,5; 20; 23,5
Мощность электродвигателя, кВт	7
Габаритные размеры, мм	1512 × 1465 × 520
Масса, кг	722

Прежде чем включить центрифугу проворачивают вручную ротор и убеждаются в ровности ее хода, отсутствии стука и т.п. Перед пуском смазывают подшипники и заливают редуктор свежим маслом. Кратковременное включение электродвигателя позволяет убедиться, в каком направлении вращается ротор. Правильное направление вращения совпадает с движением часовой стрелки, если смотреть со стороны подачи ис-

ходного масла. Если направление вращения неправильное, следует изменить подключение фаз на электродвигателе. Включают центрифугу на холостом ходу после удаления всех посторонних предметов и при закрытом кожухе.

Если центрифуга работает нормально и набрала полное число оборотов, в нее можно подавать неочищенное масло. Нагрузку на машину набирают постепенно, примерно в течение получаса. Целесообразно стабилизировать подачу масла в центрифугу и не допускать перегрузки.

Персонал, обслуживающий центрифугу, следит за температурой подшипниковых узлов и редуктора (нельзя превышать 60–65°C), утечкой масла. Если срабатывает защита редуктора, немедленно прекрывают подачу масла, выключают электродвигатель, вручную проворачивают ротор до полной выгрузки шлама и ставят защиту в исходное положение. После этого центрифугу можно вновь включать в работу.

Основными правилами техники безопасности на центрифуге запрещается включать центрифугу в следующих случаях: без заземления; при наличии неисправностей; если ротор не отбалансирован и рабочее пространство забито шламом. Не допускается отсутствия смазки в редукторе и подшипниках. Нельзя пускать центрифугу со снятыми ограждениями и без предупреждения о пуске всех обслуживающих лиц. К работе на центрифуге допускаются лишь обученные и прошедшие инструктаж. На ходу запрещается вести какие-либо ремонтные работы или чистку деталей и узлов.

При возникновении признаков неисправности надо немедленно остановить машину. Нельзя работать на центрифуге, не установленной на специальном виброизоляционном фундаменте.

Оборудование для подготовки жмыха к экстракции

Подготовка жмыха к экстракции включает следующие последовательные операции:

- предварительное дробление жмыховой ракушки ножами, устанавливаемыми на выходе из прессов;
- второе дробление в помольных шнеках на куски размером не более нескольких сантиметров;
- пропускание дробленой ракушки через магнитные сепараторы;
- измельчение кусков на дробилках (молотковых, дисковых и др.) в крупку;
- калибрование крупки на ситовых барабанах, кондиционирование крупки в чанных жаровнях и затем плющение в лепесток в парных плющильных вальцовках.

Молотковая дробилка типа ДДМ. Молотковая дробилка ДДМ (рис. 8.5) состоит из чугунного корпуса 8, внутри которого проходит вал 23 с укрепленным на нем ротором 24. Ротор представляет собой диски 25, которые между собой фиксируются распорными втулками на осях 20 ротора. К дискам ротора крепятся пакеты молотков 26. Отдельный молоток представляет собой пластину прямоугольной формы с двумя отверстиями. Молотки собраны в пакет на общей оси, проходящей через одно из отверстий молотков. При износе кромок молотков они могут быть переставлены и собраны на оси, проходящей через второе отверстие. Таким образом, молотки просто изготавливать и использовать до полного износа.

Вал ротора установлен в роликовых сферических подшипниках в корпусах подшипников 4 и приводится во вращение от электродвигателя 5 через муфту.

Сверху корпуса имеется питатель 14, обеспечивающий равномерную подачу материала на дробление. Питатель приводится во вращение от электродвигателя 3 через текстропную передачу. Количество материала регулируется заслонкой 13 с помощью механизма поворота 2.

Ротор с молотками внутри корпуса окружен деками 16 и 19, а также ситами 6 и 11. Сито 6 крепится стальными лентами 7 при помощи прижимов 21 и 27, а сито 11 прижимается винтами 9. При помощи винтов 15 можно изменять положение дек относительно ротора для обеспечения эффективного дробления и улавливания металлических и других посторонних примесей. На корпусе дробилки имеются две откидные крыш-

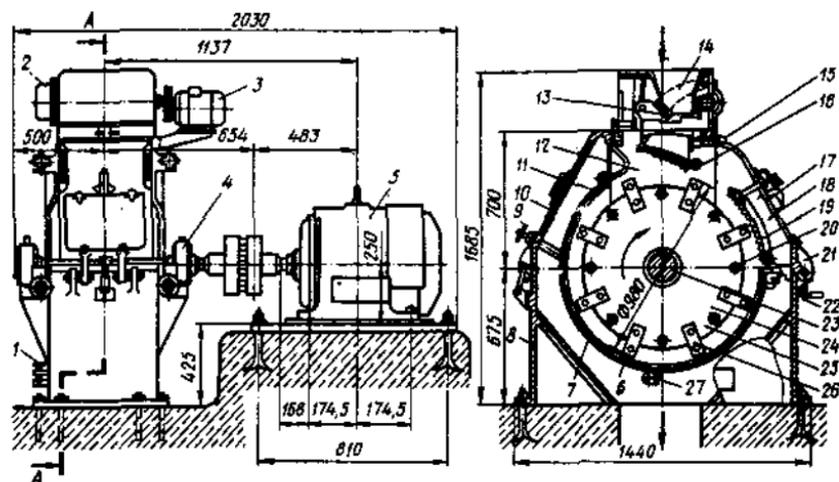


Рис. 8.5. Молотковая дробилка типа ДДМ

ки 10 и 18, через которые обеспечивается доступ к ситам и ротору при необходимости их замены.

В зависимости от технологических требований сита подбирают с соответствующими размерами отверстий. При работе молотковой дробилки материал поступает через питатель, проходит рабочую камеру и измельченным выходит через отверстие снизу корпуса.

Техническая характеристика молотковой дробилки типа ДДМ

Производительность, т/сут (форпрессового жмыха)	75
Диаметр ротора, мм	980
Ширина рабочей камеры, мм	410
Частота вращения ротора, об/мин	500–600
Площадь поверхности сит, м ²	0,8
Мощность привода, кВт:	
ротора	22
питателя	0,6
Габаритные размеры, мм	2030 × 1440 × 1685
Масса, кг	2085

Перед пуском дробилки проверяют исправность рабочих органов (крепления дисков ротора на валу, молотков, дек, неповрежденность и закрепленность сит), отбалансированность ротора, а также состояние текстурной передачи. При необходимости заполняют смазкой подшипники. Проверяют правильность подключения электродвигателя, что определяет направление вращения ротора. Вращающиеся части закрывают ограждениями, крышки на корпусе ставят на место. Если после опробования прокручиванием вручную и на холостом ходу не выявлено неполадок, в дробилку подают материал.

Обслуживание молотковой дробилки в работе заключается в контроле нагрузки по амперметру и недопущении перегрузок. Также следят за состоянием подшипников и работой привода. С особым вниманием наблюдают за качеством измельченного материала. Не допускают, чтобы молотки ударились о внутреннюю поверхность рабочей камеры дробилки. Рабочее место и саму машину содержат в чистоте.

Остановку машины производят в следующей последовательности: прекрывают подачу исходного материала; дорабатывают материал, ранее попавший в машину; выключают электродвигатели питателя и ротора.

Правилами безопасной эксплуатации молотковой дробилки запрещается: включать дробилку при наличии неисправностей рабочих органов, при большой вибрации, при забивке внутреннего пространства дробил-

ки материалом и посторонними предметами; включать машину без ограждений вращающихся частей; снимать ограждения на ходу; на ходу производить ремонт и чистку машины, а также отбирать пробы не из специального лючка. При попадании в дробилку инородных предметов (металл, камень) немедленно выключают привод машины, а после остановки ротора убирают инородные предметы.

При работе дробилки могут быть не только аварии от попадания металла и камней в рабочую камеру, но также при ослаблении крепежных болтов возможны задевания молотками дек и сит. Если имеются повреждения при аварии, производят разборку машины и ремонт или замену поврежденных узлов и деталей. Ревизию подшипников и замену смазки в них осуществляют не реже одного раза в три месяца.

Барабанный калибровочный сепаратор. Барабанный калибровочный сепаратор (рис. 8.6) предназначен для разделения дробленого форпрессового жмыха на фракции. Одновременно при продувке воздухом обеспечивается охлаждение материала.

Основным рабочим органом является конический ситовый барабан 3, который крепится на горизонтальном валу 5. Каркас барабана из уголков обшит ситами двух видов. Первое сито 6 имеет длину примерно 1/3 длины барабана и расположено со стороны подачи исходного материала, оно имеет продолговатые отверстия $2,5 \times 25$ мм. Оставшиеся 2/3 длины барабана занимает второе сито 4 с круглыми отверстиями диаметром 10 мм.

Горизонтальный вал сепаратора установлен в подшипниках и приводится во вращение от электродвигателя 11 через редуктор 10.

Барабан помещен в кожухе 7, который имеет сварную конструкцию с коническим днищем 14. В нижней части кожуха установлен горизонтальный шнек 1, который приводится во вращение через цепную передачу 12 от звездочки на главном валу сепаратора. Горизонтальный сборный шнек 1 имеет три выводных патрубка 13, 15, 16. Через эти патрубки соответственно отводят различные получаемые фракции при сепарировании дробленого жмыха. Через патрубок 13 отбирают проход через первое сито. Это наиболее мелкие частицы (размер менее 2,5 мм), которые направляют обратно в прессовый цех и подмешивают в свежую мятку для повторной обработки. Излишне крупные частицы, которые идут сходом со второго сита, попадают в шнек, выводятся через патрубок 16 и направляются на повторное измельчение. Основной фракцией при сепарировании является та, что идет проходом через второе сито и имеет размер частиц 3–10 мм. Эта фракция через патрубок 14 может быть направлена на экстракцию как крупка или на вальцы, после которых она превращается в лепесток толщиной 0,3–0,4 мм и также может быть на-

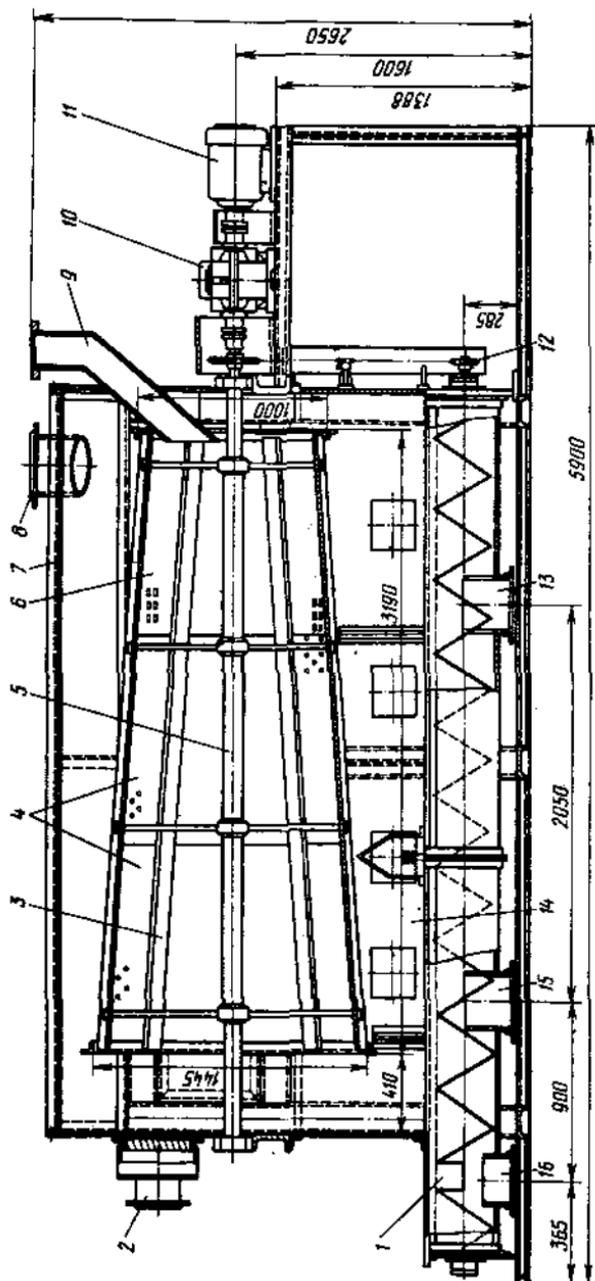


Рис. 8.6. Барабанный калибровочный сепаратор

правлена на экстракцию. Подача исходного материала в сепарирующий барабан производится через питающий патрубок 9.

При необходимости охлаждения материала выходной воздушный патрубок с жалюзи 2 может быть подключен к всасывающему патрубку вентилятора. Окружающий воздух на охлаждение засасывается через входной воздушный патрубок 8.

Техническая характеристика барабанного калибровочного сепаратора

Производительность, т/сут (жмыха)	до 300
Площадь ситовой поверхности, м ²	8
Конусность ситового барабана, град	8
Частота вращения вала барабана, об/мин	23,7
Мощность привода, кВт	5,5
Габаритные размеры, мм	5900 × 1830 × 2650
Масса, кг	2620

Двухпарный плющильный вальцовый станок ФВ-600. Двухпарный плющильный вальцовый станок ФВ-600 (рис. 8.7) предназначен для придания лепестковой структуры масличным материалам, направляемым на экстракцию.

Основными рабочими органами станка являются две одинаковые пары параллельно работающих валков 2, 4, 11, 12 по 600 мм в диаметре каждый. Соответственно они имеют (каждая пара валков) свои одинаковые приводы, состоящие из электродвигателя 16, клиноременной передачи 14, редуктора 15 и двух шарнирных валов 17. Также имеются самостоятельные загрузочные устройства вибрационного типа 9 (привод электромеханический), состоящие из вибрационного желоба 8, пружин сжатия 7 и электромагнитного вибратора с листовыми пружинами 10.

Каждый валок имеет ось 18, которая опирается на два сферических роликовых подшипника, установленных на корпусе 5. Концы осей валков соединены с шарнирными валами и через них получают вращение. Причем конструкция редуктора обеспечивает вращение валков навстречу друг другу. Один из каждой пары валков 2 и 12 является подвижным, т.е. может перемещаться в поперечном направлении. Шарнирные валы также не препятствуют таким перемещениям. Перемещение валков необходимо для установления требуемого зазора между валками, что позволяет получать определенный размер лепестка. Выставляют требуемый зазор вручную с помощью механического регулировочного устройства 6, и при работе этот зазор выдерживается автоматически за счет работы гидромеханического прижимного устройства 3. Гидравлическая система прижимного устрой-

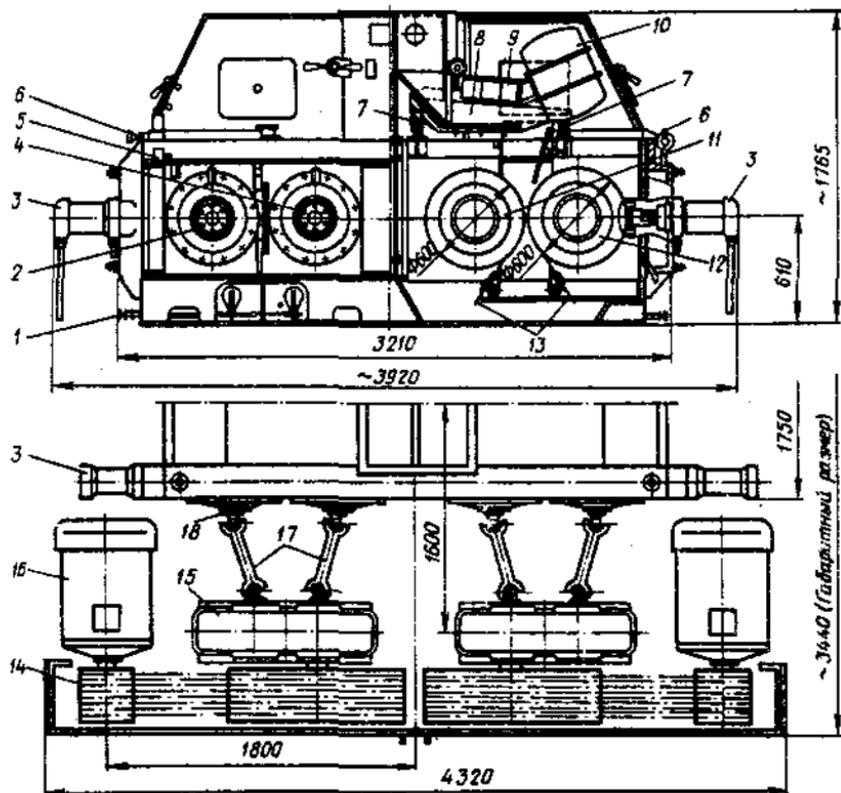


Рис. 8.7. Двухпарный плющильный вальцовый станок ФВ-600

ства рассчитана на номинальное давление 16 МПа и обеспечивает автоматическую регулировку зазора обеих пар валков станка. Если давление в системе падает ниже установленного минимального, то срабатывает сигнализация (световая и звуковая). В этом случае с помощью ручного поршневого насоса поднимают давление до номинального значения.

Регулирование (в заданных пределах) равномерной подачи исходного материала загрузочное устройство осуществляет с помощью настройки электромагнитного возбуждителя колебаний и тиристорного выпрямителя. Настройка рабочего тока (максимальный рабочий ток тиристорного выпрямителя 4 А) производится с помощью потенциометра на пульте управления. Количество подаваемого материала регулируют с помощью шибберов на подающих течках.

Техническая характеристика вальцового станка ФВ-600

Производительность, т/сут	250—400
Число колебаний вибрационного желоба	50
Общая мощность электромагнитного вибратора, кВт	2,6
Общая мощность привода валков, кВт	180
Частота вращения валков, об/мин	295
Усилие прижима валков, кН	294,2
Габаритные размеры, мм	3920 × 3440 × 1760
Масса (без электрооборудования), кг	20 100

Плющильный вальцовый станок ФВ-801К. Однопарная модификация плющильного вальцового станка ФВ-600 имеет марку ФВ-601 с диаметром валков 600 мм, и, соответственно, однопарным является подобный плющильный станок ФВ-801К, который имеет диаметр валков 800 мм.

Станок ФВ-801К предназначен для лепесткования форпрессовой крупки или неизмельченных мелкозернистых масличных семян, а также может применяться для предварительного измельчения крупнозернистых масличных материалов (ядра и семян) для подготовки материала к экстракции масла растворителем или отжима на шнековых прессах.

В конструкции станка можно выделить следующие основные составные части:

- пара гладких валков диаметром 800 мм и длиной 1250 мм из стбеленного чугуна, устанавливаемых в подшипниках качения;
- питатель в виде вибрационного желоба с возбудителем колебаний;
- гидравлическая система прижимного устройства валков;
- станина стальная;
- защитные ограждения.

Основной характеристикой станка ФВ-801К является то, что привод каждого валка осуществляется непосредственно от отдельного электродвигателя через клиноременную передачу.

Гидравлическая система прижимного устройства валков обеспечивает автоматическое поддержание рабочего давления в межвалковом зазоре. Для этого шестеренный насос гидравлической системы имеет привод, который заблокирован с электромагнитами управления ходовыми клапанами и выключателями.

При снижении рабочего давления ниже установленного интервала, например, по причине утечки масла через неплотности, происходит автоматическое включение шестеренного насоса и открывается ходовой клапан для нагнетания масла в гидросистему. Как только рабочее давление достигнет верхнего значения интервала, насос автоматически вык-

лючается, и ходовой клапан закрывается. В случае прохождения между валками посторонних предметов возникает резкий подъем давления, и для компенсации перегрузок в гидравлической системе имеется гидроаккумулятор. При раздвижении валков происходит перемещение масляных поршней, связанных с осями валков. В результате масло вытесняется в гидроаккумулятор, и после этого поршни возвращаются в заданное положение одновременно со сближением валков.

Основные преимущества станка ФВ-801К по сравнению со станком ФВ-601: больший диаметр валков (обеспечиваются лучшие условия захвата частиц материала); более высокая производительность; повышенная надежность и упрощенный привод валков за счет устранения карданных валов и редукторов.

Техническая характеристика плющильного вальцового станка ФВ-801

Производительность, т/сут	170–270
Число колебаний вибрационного желоба	50
Общая мощность электродвигателя, кВт	132
Частота вращения валков, об/мин	300/288
Максимальное усилие прижима, т	30
Масса, кг	11670

Контрольные вопросы

1. Какие способы применяются для первичной очистки масла?
2. Как устроена и работает двойная гушеловушка?
3. Какие основные правила техники безопасности при эксплуатации гушеловушки?
4. Как устроен и работает дисковый механизированный фильтр ФГДС?
5. Какие основные особенности фильтра ФГДС?
6. Какие основные неполадки в работе фильтров ФГДС и меры по их устранению?
7. Как устроена и работает центрифуга НОГШ-325?
8. Какие основные правила эксплуатации центрифуги и НОГШ-325?
9. Какими способами получают материал в виде крупки и лепестка?
10. Как устроена и работает молотковая дробилка типа ДДМ?
11. Какие основные правила эксплуатации молотковой дробилки?
12. Как устроен и работает барабанный калибровочный сепаратор?
13. Как устроен и работает двухпарный плющильный вальцовый станок ФВ-600?
14. Каковы особенности вальцового станка ФВ-801К?

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАСЛА ЭКСТРАКЦИЕЙ

Схема экстракционного участка

Ракушка из форпрессового цеха поступает на дробилки (дисковые или молотковые) 1, где превращается в крупку. В некоторых схемах маслянистый материал непосредственно в виде крупки направляется в экстрактор. Форма частиц материала в виде лепестка (пластинки материала толщиной примерно 0,4 мм) позволяет иметь в экстракторах легкопроницаемую растворителем массу материала. Для получения маслянистого материала в виде лепестка крупку направляют на плющильные вальцы 2.

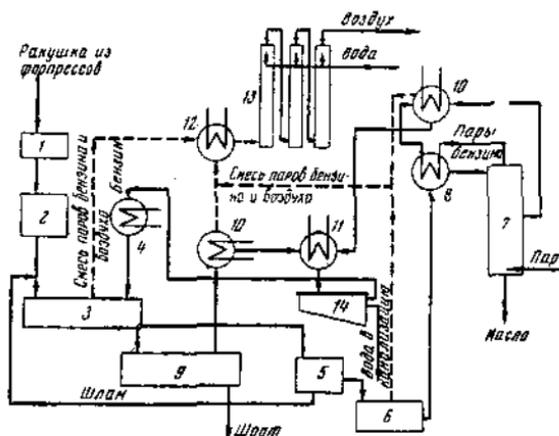


Рис. IV.1. Аппаратурная схема экстракционного цеха:

1 — дробилка; 2 — плющильные вальцы; 3 — экстрактор; 4 — бензоподогреватель; 5 — мисцелловый фильтр; 6 — мисцеллопоглотитель; 7 — дистилляционная установка; 8 — мисцеллоиспаритель; 9 — испаритель; 10 — конденсаторы для смеси паров бензина и воды; 11 — охладитель конденсата; 12 — конденсатор для воздушно-газовой смеси; 13 — дефлегматор; 14 — водоотделитель

Из-под плющильных вальцов транспортерами лепесток направляется в экстрактор 3. Экстрактор является основным аппаратом экстракционного цеха; он предназначен для извлечения масла в растворитель при противоточном контактировании. В настоящее время в качестве экстракционного растворителя применяют бензин (температура кипения при атмосферном давлении 65—68°C). Раствор масла в бензине называют мисцеллой, а обезжиренный материал (остаточная маслячность примерно 1%) — шротом. Кроме масла, в шроте содержится бензин (до 40%), для удаления которого выходящий из экстрактора шрот направляют в испаритель (тостер) 9. Путем подачи глухого и острого пара в испаритель отгоняется бензин, который в виде паров в смеси с водяным паром поступает в конденсатор 10, а шрот после охлаждения и, если необходимо, увлажнения отправляют на склад шрота для отгрузки в качестве ценного кормового продукта.

Выходящую из экстрактора мисцеллу также подвергают обработке с целью разделения на масло и бензин. В некоторых экстракторах (вертикальном шнековом) мисцелла выносит некоторое количество мелкой твердой фазы, которую отфильтровывают до подачи на разделение путем дистилляции. Отфильтрованный осадок (шлам), как правило, возвращают в экстрактор. Фильтрованную мисцеллу собирают в промежуточной емкости (мисцеллосборнике) 6, из которой насосом она подается через мисцеллоподогреватель (трубчатый теплообменник) 8 в дистилляционную установку 7.

Обычно дистилляция (тепловая отгонка бензина от практически нелетучего масла) осуществляется в две стадии (число ступеней может быть больше). На стадии предварительной дистилляции под воздействием тепла, подводимого «глухим» водяным паром, происходит нагревание мисцеллы (до кипения) и выпаривание бензина. Пары бензина уходят из аппарата на конденсацию, а упаренная мисцелла поступает в окончательный дистиллятор, где происходит полное удаление бензина из масла. Окончательную дистилляцию проводят, как правило, с применением вакуума и подачи «острого» пара. Смесь паров бензина и водяного пара уходит из окончательного дистиллятора на конденсацию, а полученное в окончательном дистилляторе масло выводят из него, охлаждают, взвешивают и направляют в маслохранилище.

Пары бензина и воды из испарителя шрота и дистилляционной установки конденсируются в поверхностных трубчатых конденсаторах 10 при охлаждении их водой. Конденсат представляет собой жидкую смесь бензина и воды, которая после охлаждения в специальном теплообменнике 11 разделяется в водоотделителе 14 по плотности (как две взаимно нерастворимые жидкости). Из водоотделителя отделенный бензин возвращается на экстракцию, предварительно пройдя водоосядатель и труб-

чатый подогреватель бензина 4, а вода через дворовую бензолушку сбрасывается в канализацию. Несконденсировавшиеся в конденсаторах пары бензина, а также бензовоздушная смесь от всех емкостей экстракционного цеха направляются в систему рекуперации паров растворителя, которая, как правило, включает две ступени: конденсатор для воздушно-паровой смеси 12 и дефлегматоры 13. Такая ступенчатость вызвана необходимостью сконденсировать на первой ступени пары воды с тем, чтобы исключить трудности на второй ступени, где в дефлегматорах в качестве охлаждающего агента применяют рассол при температуре, близкой к температуре замерзания воды. Сконденсировавшиеся в системе рекуперации бензин и вода в смеси поступают на разделение в водоотделитель. Воздух, освобожденный в системе рекуперации от паров бензина, удаляется в атмосферу.

В последнее время в промышленности применяется другой принцип рекуперации — абсорбционный, основанный на поглощении паров бензина специальным абсорбентом (минеральным маслом).

Свойства масличных и вспомогательных материалов

Технологические свойства экстрагируемых масличных материалов приведены ниже:

Таблица IV. 1
Технологические свойства масличных материалов

Экстрагируемый материал	Насыпная масса, г/см ³	Коэффициент общей пористости	Проницаемость слоя, см ² , ×10 ²	Бензино-емкость, %
Лепесток из форпрессовой крупки (S = 0,5...0,8 см ²)	0,30	0,58	9,7	32,9
Лепесток из гранул (S = 1,5...2,0 см ²)	0,27	0,62	15,0	30,4
Гранулы:				
d = 5 мм, l = 6...8 мм	0,47	0,49	12,0	19,7
d = 5 мм, l = 15...20 мм	0,39	0,52	13,2	19,8
d = 8 мм, l = 6...8 мм	0,41	0,49	12,2	19,6
d = 8 мм, l = 15...20 мм	0,40	0,45	16,5	18,7
Смесь лепестка из форпрессовой крупки (80%) и гранул d = 5 мм, l = 6...8 мм (20%)	0,34	0,53	12,7	28,7
Смесь лепестка из форпрессовой крупки (80%) и лепестка из гранул (20%)	0,29	0,61	14,5	30,75

Примечание: S — площадь лепестка средняя; d — диаметр гранул; l — длина гранул.

Гранулометрический состав шротов описывается распределением Розина-Раммлера

$$P(d) = \exp \left[- \left(\frac{d}{d_c} \right)^n \right], \quad (IV.1)$$

где $P(d)$ — интегральное распределение частиц по размерам (доля частиц в совокупности, имеющая размер меньше d); d_c — характерный размер частиц (содержание частиц в совокупности больше d_c составляет в долях 0,368); n — показатель выравниваемости гранулометрического состава.

Показатели гранулометрического состава различных материалов представлены в табл. IV.2.

Таблица IV.2

Наименование	Показатели гранулометрического состава	
	d_c	n
Подсолнечный шрот	6,6	1,96
Подсолнечная лузга	3,4	7,2
Хлопковый шрот	3,2	3,6
Соевый шрот	4,8	1,9
Рапсовый шрот	2,8	1,4

Величина среднего размера частиц в распределении по объему связана с показателями гранулометрического состава и определяется по формуле

$$\bar{d} = d_c \sqrt[n]{\frac{n-1}{n}}. \quad (IV.2)$$

Физико-механические и аэродинамические характеристики шротов (на примере хлопкового шрота) могут быть описаны уравнением вида

$$y = aW + b, \quad (IV.3)$$

где y — свойство; W — влажность, %.

Коэффициенты уравнения (IV.3) для свойств шрота:

Свойство	a	b
Плотность, ρ_w , кг/м ³	11,45	750,7
Объемная масса, ρ_n , кг/м ³	3,32	477,7
Порозность, e	$3,45 \cdot 10^{-3}$	0,374
Скорость витания, $w_{\text{внт}}$, м/с	0,21	3,43

Коэффициенты внешнего трения шрота, в зависимости от поверхности материала, могут быть представлены уравнением вида

$$f = \frac{a}{W} + b, \quad (IV.4)$$

где f — коэффициент внешнего трения; W — влажность, %.

Коэффициенты уравнения (IV.4):

Поверхность материала	a	b
Винипласт	-2,24	0,546
Стекло	-3,0	0,638
Сталь	-1,41	0,524
Кирпич	-0,724	0,772
Бетон	-0,983	0,701

Теплофизические свойства шротов описываются уравнением общего вида, полученного обработкой экспериментальных данных

$$x = x_0 + \alpha u + \beta m, \quad (IV.5)$$

где x — теплофизический параметр; x_0 — значение теплофизического параметра сухого обезжиренного материала; α , β — коэффициенты;

$u = \frac{W}{100 - W - M}$ — влагосодержание (кг/кг); $m = \frac{M}{100 - M - W}$ — масло-содержание (кг/кг); M — масличность, %.

Значения коэффициентов уравнения (IV.5) даются для различных материалов для нормальной температуры (30...40°C), а теплоемкость при влажности, соответствующей воздушно-сухому состоянию ($W = 6...8\%$) в диапазоне температур до 353...373°K, остается постоянной.

Материал	λ , Вт/м К			c , Дж/кг К			ρ_e , кг/м ³		
	λ_0	α	β	c_0	α	β	ρ_0	α	β
Подсолнечный шрот	0,068	0,39	0,092	1343	3644	414	418	-211	183
Подсолнечная лузга	0,057	—	—	1098	—	—	323	—	—
Хлопковый шрот	0,081	0,32	0,21	1276	3430	1717	595	-125	510
Соевый шрот	0,085	0,33	0,061	1274	3756	2777	527	-259	958
Рапсовый шрот	0,087	0,24	0,078	1305	4048	1007	521	-64,2	217

Коэффициент температуропроводности вычисляется по формуле

$$a = \lambda / c\rho, \quad (IV.6)$$

где ρ — в зависимости от того, для какого состояния материала определяется a , под ρ понимается объемная масса слоя (см. таблицу) или плотность материала (определяется по формуле $\rho = \rho_r(1 + u + m)$ и $\rho_r = 1120$ кг/м³).

Теплофизические свойства бензина и масла приводятся ниже:

Показатель	Формула
Плотность бензина, кг/м ³	$\rho_6^* = 895,6 - 0,7T$
Теплоемкость бензина, Дж/(кг·К)	$c_6^* = 1,534 + 0,002t$
Теплопроводность бензина, Вт/(м·К)	$\lambda_6^* = (312,8 - 0,6t) \cdot 10^{-3}$
Динамический коэффициент вязкости бензина, МПа·с	$\mu_6^* = 0,0258 \exp(756,2/T)$
Поверхностное натяжение бензина (марка А), Н/м	$\sigma = (76,6 - 0,189T) \cdot 10^{-3}$
<i>Теплофизические свойства паров бензина</i>	
Плотность паров бензина, кг/м ³	$\rho_6^n = -1507,17 + 12,8336T -$ $- 0,0364747T^2 + 3,472 \cdot 10^{-5}T^3$
Теплоемкость паров бензина, Дж/(кг·К)	$c_6^n = 1,49 + 3,8 \cdot 10^{-4}t$
Теплопроводность паров бензина, Вт/(м·К)	$\lambda_6^n = (-11,4947 +$ $+ 0,0594T +$ $+ 7,068 \cdot 10^{-5}T^2) \cdot 10^3$
Кинематический коэффициент вязкости бензина, мПа·с	$\nu_6^* = (4,0731 + 7,4757 \cdot 10^{-5} \cdot T +$ $+ 2,79 \cdot 10^{-5}T^2) \cdot 10^{-6}$
Энтальпия насыщенных паров бензина, Дж/кг	$H_6^{nn} = c_6^*t + r$
Скрытая теплота парообразования, Дж/кг	$r = 748,48 - 2,9223t_n +$ $+ 8,6918 \cdot 10^{-3}t_n^2 - 1,0727 \cdot 10^{-5}t_n^3$
Температура кипения, град (при давлении Р, Па)	$t_n = 28,6533 \cdot \ln P + 10,8$
Энтальпия перегретых паров бензина, Дж/кг	$H_6^{nn} = H_6^{nn} + c_6^n \Delta t; \Delta t = t - t_n$
<i>Теплофизические свойства масла</i>	
Плотность масла, кг/м ³	$\rho_m = 1125,6 - 0,7T$
Теплоемкость масла, Дж/(кг·К)	$c_m = 1,69 + 0,00419t$
Теплопроводность масла, Вт/(м·К)	$\lambda_m = (339,7 - 0,57t) \cdot 10^{-3}$
Кинематический коэффициент вязкости масла, м ² /с	$\nu_m = \exp(-1,11) \exp(-3,17/T)$

ГЛАВА 9.

АППАРАТЫ ДЛЯ ЭКСТРАКЦИИ МАСЛА

Процесс экстракции масла с применением растворителя обеспечивает практически полное извлечение масла из подготовленного соответствующим образом масличного материала, чаще всего прошедшего предварительное обезжиривание прессованием. При этом вследствие относительно низких температур, как на стадии экстракции, так и на других стадиях экстракционного производства, создаются предпосылки сохранения качества продуктов (масла и шрота).

При современном аппаратурном оформлении экстракционное производство представляет собой высокомеханизированный и автоматизированный комплекс оборудования, требующий для своего обслуживания персонал сравнительно малой численности. Это, вместе с получением дополнительной продукции, позволяет значительно повышать производительность труда на маслоэкстракционных производствах.

Основными требованиями к процессу экстракции являются следующие.

Глубина извлечения масла. Для различных масличных материалов надо обеспечивать масличность шрота около 1%.

Интенсивность процесса. Одним из показателей интенсивности процесса является продолжительность процесса, которая в различных аппаратах в настоящее время колеблется от одного до нескольких часов. При современных требованиях высокой единичной мощности оборудования это приводит к большим габаритам экстракторов.

Эффективность процесса. Для процесса экстракции это означает способность его проведения с возможно меньшим количеством растворителя. Это зависит от степени подготовленности материала к извлечению масла экстракцией, а также от способа его проведения. Общим является применение в настоящее время последовательного непрерывного противоточного обезжиривания, но различными способами. Существуют два основных способа — погружение мате-

риала в противотоке с растворителем и ступенчатое орошение материала в противотоке с растворителем. Известны комбинации этих двух способов. Для способа экстракции погружением характерен диапазон соотношений растворитель/материал от 1/1 до 0,6/1, а для способа экстракции орошением — от 0,6/1 до 0,3/1.

Рассмотрим наиболее распространенные и перспективные конструкции экстракторов, реализующих основные способы экстракции — погружения и орошения.

Экстрактор вертикальный шнековый НД-1250

Наиболее распространенными в нашей стране в настоящее время являются вертикальные шнековые экстракторы, реализующие способ экстракции погружением.

Данный тип экстрактора появился еще в 20-е гг. XX-го в. и в настоящее время эксплуатируется в промышленности в виде модернизированного экстрактора НД-1250 (рис. 9.1).

Экстрактор имеет U-образную форму. Он состоит из трех колонн: двух вертикальных (загрузочной 3 и экстракционной 12) и горизонтальной, представляющей собой передаточный шнек 2.

В обеих вертикальных колоннах также размещены шнеки 4. На загрузочной колонне расположен декантатор 6 — устройство, в котором отходящая из экстрактора мисцелла очищается путем отстаивания от основного количества крупных взвешенных в ней частиц.

В верхней части экстракционной колонны расположен механизм сбрасывателя 9 отходящего из экстрактора шрота. Шнеки всех трех колонн имеют индивидуальные приводы 1, 7, 8.

Колонны экстрактора состоят из царг с внутренним диаметром 1250 мм, которые собираются на фланцах. Наружный диаметр шнеков в загрузочной колонне составляет 1242 мм, а в экстракционной колонне и передаточном горизонтальном шнеке — 1220 мм, так как в них для предотвращения проворачивания материала вместе со шнеками на внутренней поверхности царг имеются направляющие планки 14, 15.

На верхней царге экстракционной колонны расположены патрубок 10 для выхода шрота, смотровые окна 11, люк-лаз 13.

Для подачи бензина на царгах экстракционной колонны в верхней части в патрубки вставлены на фланцах 9 самоочищающиеся форсунки (рис. 9.2). Такие же форсунки применяются в размывочной системе загрузочной колонны.

Форсунка имеет корпус 2, к которому приварен патрубок 1 для подачи растворителя. Основная деталь форсунки — стержневой клапан 10 с поршнем — расположен в корпусе. Сзади на стержневой клапан нажи-

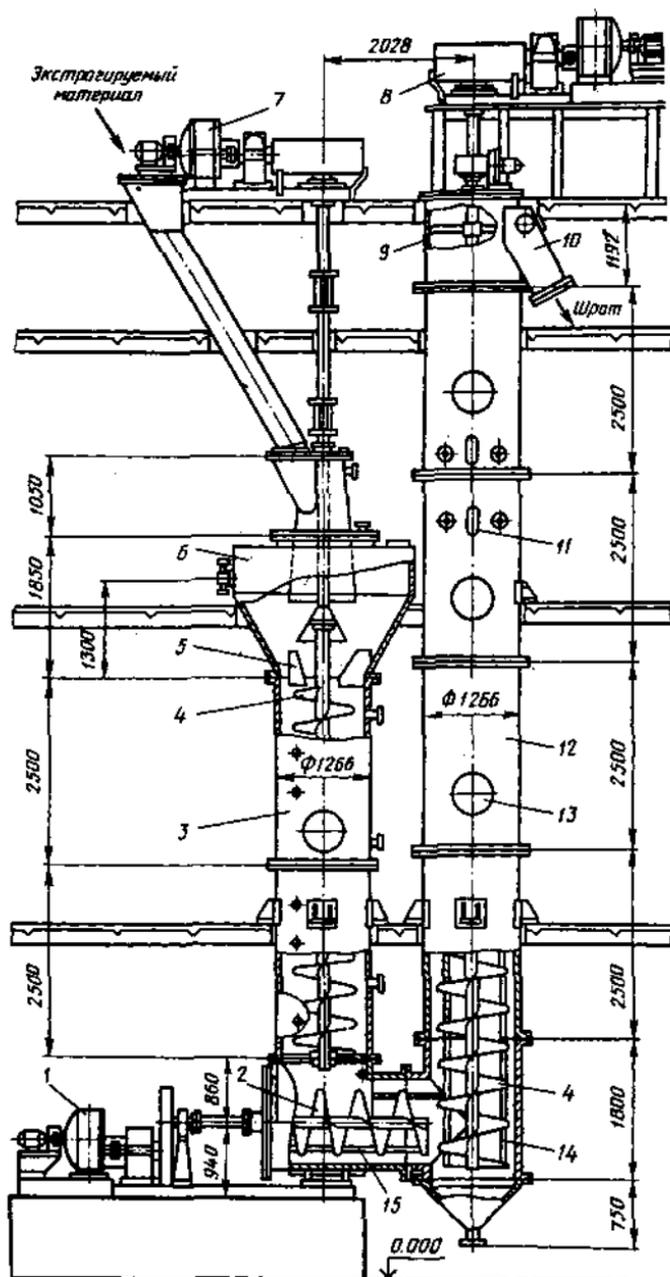


Рис. 9.1. Шнековый экстрактор НД-1250

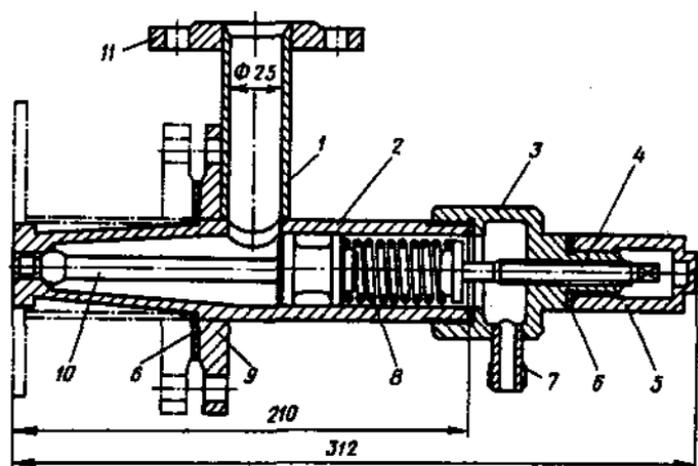


Рис. 9.2. Самоочищающаяся форсунка

мает пружина 8, и в результате передний конец клапана упирается в седло, перекрывая отверстие форсунки. Сила нажатия пружины регулируется упорным винтом 4 с квадратом на конце, выведенным наружу и закрытым в рабочем состоянии торцовым колпачком 5 с прокладкой 6. Растворитель, который просачивается через неплотности поршневой пары, попадает в камеру 3 и отводится через патрубок 7.

При работе под давлением от насоса растворитель подается в корпус форсунки через патрубок для входа растворителя. Достаточное давление в камере создает силу, действующую на поршень и сжимающую нажимную пружину. Это вызывает перемещение стержневого клапана и открытие отверстия форсунки. В результате этого растворитель под напором поступает в экстрактор. При прекращении подачи растворителя давление в камере снижается, и пружина возвращает стержневой клапан в положение, при котором его передний конец упирается в седло и перекрывает отверстие форсунки. Таким образом, исключается забивание отверстия форсунки экстрагируемыми частицами.

Торцы всех трех колонн экстрактора закрыты крышками, через центр которых проходят валы диаметром 120 мм (места прохода валов уплотнены). К валам приварены витки шнеков. Толщина перьев шнеков 10 мм. В загрузочной колонне число витков шнека, находящихся в зоне растворителя, составляет 9,5 шт. При этом шаг верхнего шнека 460 мм, а шаг остальных витков 560 мм. В передаточном горизонтальном шнеке 3,5 витка, а в экстракционной колонне — 27,5 витка. В этих колоннах шаг шнековых витков постоянный и одинаковый — 450 мм. Поверхность перьев шнеков

перфорирована круглыми отверстиями с раззенковкой, расположенной на той стороне пера шнека, которая не соприкасается с экстрагируемым материалом. Диаметр отверстий на перьях шнека загрузочной колонны 8 мм, а на перьях передаточного горизонтального шнека и экстракционной колонны — 10 мм. Валы загрузочной и экстракционной колонн составные, соединены на болтах в специальных муфтах. Верхние концы валов соединены с валами редукторов продольно-свертными муфтами, и, таким образом, валы подвешены на упорных подшипниках редукторов. Нижние концы валов центрированы подшипниками скольжения.

Декантатор представляет собой цилиндр диаметром 2,2 м с конусообразным основанием, нижний диаметр которого имеет фланец для соединения с верхней партой загрузочной колонны. Верхняя крышка декантатора имеет горловину со съемной крышкой, по центру которой приварена центральная течка с наклонной питающей течкой, имеющей отверстие для входа экстрагируемого материала. На крышке декантатора также расположено смотровое окно, патрубки для выхода паровоздушной смеси. В конической части декантатора установлены радиально-ориентированные пластины, препятствующие проворачиванию материала вместе со шнеком. На верхнюю полумуфту соединения валов надет распределительный конус. На цилиндрической части декантатора установлены три патрубка для выхода мисцеллы.

Экстрагируемый материал в виде лепестка (возможна подготовка материала в виде крупки или гранул) поступает в загрузочную колонну экстрактора по наклонной и центральной питающим течкам через горловину. Материал движется по течкам, и в горловине, образовав опускающийся слой, соприкасается с поверхностью мисцеллы в декантаторе.

При этом частицы материала смачиваются и осаждаются, образуя фильтрующий слой в конической части декантатора. Направляющие пластины в конической части декантатора препятствуют проворачиванию слоя материала и тем самым способствуют захвату его шнеком. Шнековый вал загрузочной колонны, как и другие шнеки экстрактора, вращается по часовой стрелке и может совершать один оборот за 42—240 с (привод загрузочной колонны снабжен вариатором). Продолжительность одного оборота передаточного горизонтального шнека 61 с, а шнекового вала экстракционной колонны — 72 с. Материал, транспортируемый шнеками, вначале опускается вниз в загрузочной колонне, затем движется горизонтально в передаточном шнеке и поднимается вверх в экстракционной колонне. В верхней части экстракционной колонны проэкстрагированный материал поднимается выше уровня бензина. При этом из насыщенной массы происходит сток жидкой фазы, и шрот выходит из экстрактора с содержанием бензина 20—40%. Вывод шрота из экстрактора (рис. 9.3) осуществляется сбрасыванием в выводную течку с помощью

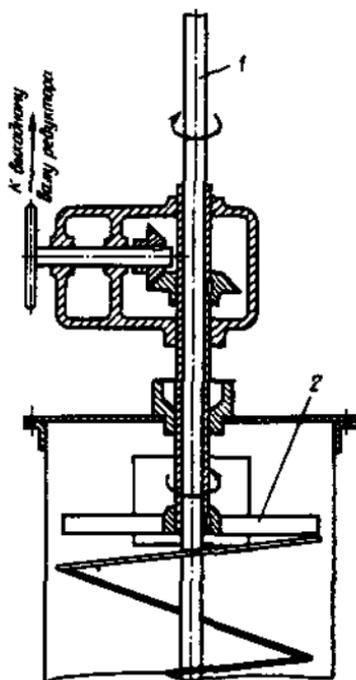


Рис. 9.3. Устройство для сбрасывания шрота

лопастного сбрасывателя 2, который вращается в направлении, противоположном направлению вращения шнека 1, с частотой 27 об/мин.

Экстрагирование маслянистого материала в шнековом экстракторе происходит в противотоке. Растворитель (бензин) насосом подается в верхнюю часть экстракционной колонны через форсунки и опускается вниз сплошным потоком, заполняя весь свободный объем колонны, включая пространство между частицами экстрагируемого материала. Потоком текущей жидкой фазы навстречу транспортируемому материалу заполняется свободный объем передаточного горизонтального шнека и загрузочной колонны. На всем пути по трем колоннам экстрактора жидкая фаза последовательно насыщается извлекаемым маслом, и получаемая при этом мисцелла имеет наибольшую концентрацию на выходе из экстрактора. Патрубки в декантаторе для отвода мисцеллы из экстрактора расположены ниже форсунок в экстракционной колонне, по которым

подается растворитель в экстрактор.

Это позволяет иметь избыточный гидростатический напор для обеспечения течения жидкой фазы по трем колоннам экстрактора от входа к выходу (реализуется принцип сообщающихся сосудов). Мисцелла, поступающая снизу в декантатор, вначале фильтруется через опускающийся слой жмыха, а затем отстаивается в расширенной части декантатора. В результате этого мисцелла, выходящая из экстрактора, имеет содержание частиц экстрагируемого материала 0,4—1,0%.

После длительной остановки и ремонта перед пуском экстрактора, убедившись в наличии смазки в трущихся узлах и работоспособности электрооборудования, проверяют исправность механической части экстрактора (проворачиваемость без заклинивания всех шнеков, а также работу сбрасывателя шрота). Проверку производят проворачиванием шнеков колонны вручную (за муфту электродвигателя) и кратковременным (на 5—10 мин) включением электродвигателей.

Техническая характеристика экстрактора НД-1250

Производительность, т/сут при переработке семян подсолнечника:	
по схеме форпрессования – экстракция в расчете на семена при переработке сои	500
по схеме прямой экстракции сырого лепестка	160
форпрессование – экстракция жмыхового лепестка	250
по схеме форпрессование – экстракция жмыховой крупки	220
Установленная мощность электродвигателей приводов, кВт:	
загрузочной колонны	4,4
горизонтального шнека	3,5
экстракционной колонны	5,0
Габаритные размеры, мм	5838 × 2535 × 13340
Масса, кг	30 000

При отсутствии неполадок начинают пуск. Вначале при остановленных шнеках подают в загрузочную колонну экстрагируемый материал для создания газового затвора между рабочим объемом экстрактора и транспортными элементами экстрагируемого материала. После этого через краны в нижней части загрузочной и экстракционных колонн производят заполнение рабочего объема экстрактора неподогретым бензином. После заполнения экстрактора переходят на малое (2–3 м³/ч) прокачивание растворителя через питающие форсунки экстракционной колонны.

Проверив работу транспортеров, включив в работу электромагнит в наклонной питающей течке и все три шнека экстрактора, открывают подачу материала в экстрактор. Через 30 мин работы устанавливают номинальную частоту вращения загрузочного шнека и увеличивают прокачивание и температуру бензина до нормы.

Обслуживание экстрактора заключается в контроле технологического режима процесса (качество и количество материала и растворителя, температура бензина), исправности работы экстрактора (нагрузка по амперметру на шнеки, давление бензина у форсунок, отсутствие препятствий для выхода мисцеллы и шрота, переброса растворителя в испаритель вместе со шротом), а также в поддержании технически нормального состояния многочисленных узлов экстрактора (следят за герметичностью сальниковых уплотнений, наличием смазки в колпачковых масленках, температурой вариатора, грундбукс, целостностью пальцев муфтового соединения, своевременным съемом металла с электромагнита, правильностью установки ограждений и т.п.). При работе экстрактора смазывают подшипники качения через каждые 8 ч, а грундбуксы и подшипники скольжения — через каждые 2 ч.

Остановку экстрактора проводят в определенной последовательности: сигнализируют в прессовый цех о необходимости прекращения подачи материала; выключают все электродвигатели на экстракторе; отключают подогрев бензина в подогревателе; останавливают бензонасос (при кратковременной остановке бензин из экстрактора не сливают); обеспечивают уровень материала в загрузочной колонне, предохраняющий от прорыва паров в цех. Если остановку проводят на продолжительный период и на ремонт, то из экстрактора удаляют весь материал и растворитель.

Правилами техники безопасности при работе на экстракторе предусмотрено: предотвращение прорыва бензина в цех (нельзя перегревать бензин и повышать давление на линии подачи растворителя более 0,2 МПа, нельзя открывать люки при работе на тече поступления шрота в испаритель и смотровые окна на загрузочной колонне экстрактора), исключение механических поломок (нельзя отключать при работе автоблокировку, снимать ограждения на приводных шестернях экстрактора), а также предотвращение появления искры (нельзя снимать клеммные коробки на электродвигателях).

Аварийная ситуация возникает в результате сильной течи бензина в арматуре или из неисправных трубопроводов и аппарата. В этом случае немедленно выключают бензонасос и прикрывают подогрев бензина.

Если случается сильный переброс бензина в испаритель, то сразу выключают бензонасос и мисцелловым насосом откачивают мисцеллу через нижний патрубок экстракционной колонны. Особо недопустимым является перегрузка экстрактора, о чем свидетельствует повышение нагрузки (по амперметру) на приводных электродвигателях, включение светового и звукового сигналов, скрежет и вибрация экстрактора.

Основные причины перегрузки связаны с попаданием воды в растворитель, поступлением на экстракцию сырого (около 10% влажности) материала, а также с повышенным содержанием мучнистых фракций. Возможно попадание в экстрактор инородных твердых предметов. Влияет также недостаточная шлифовка поверхностей перьев шнека, что надо выполнять при пуске нового экстрактора или же при пуске после длительной остановки.

Если появляются признаки перегрузки, то сразу прекращают подачу материала в экстрактор. Затем выясняют, в какой из колонн экстрактора имеется неполадка, и выключают привод этой колонны. При этом предшествующие ей транспортные механизмы и колонны выключают, а последующие оставляют в работе.

Основные неполадки при перегрузках сводятся к запрессовке или заклиниванию. В зависимости от места и степени запрессовки поступают по-разному: во-первых, размывают места запрессовки через систему раз-

мывочных форсунок; во-вторых, с соблюдением правил техники безопасности и промсанитарии пробивают пробку запрессованного материала через имеющиеся люки; в-третьих, разбирают и раздвигают царги, а если витки шнека при запрессовке смяты, то без разборки шнека и восстановления перьев шнека вне цеха не обойтись.

Заклинивание происходит при недостаточной смазке редуктора, направляющей грундбоксы, а также попадании между краем пера шнека и царгой инородного твердого предмета. От недостаточной смазки возникают поломки, которые устраняют при ремонте. От инородного предмета избавляются включением обратного хода шнека; если это не помогает, проводят разборку экстрактора.

Ленточный экстрактор МЭЭ-350

Ленточный экстрактор (рис. 9.4) работает по способу орошения. Основным рабочим органом экстрактора является горизонтальный сетчатый ленточный транспортер 5. Лента состоит из двух параллельно расположенных бесконечных цепей, к щекам которых крепятся болтами поперечно 58 рамок. Рамки имеют размеры 2400 × 600 мм и для обеспечения жесткости снабжены продольными и поперечными ребрами. Сверху на рамки укладывают подкладочные листы с перфорацией (отверстия размером 8 × 8 или 20 × 20 мм), затянутые сверху специальной плетеной сеткой.

Цепи ленты надеты на звездочки ведущего 3 и ведомого 13 валов, расстояние между осями которых 15 м, поэтому длина верхней рабочей ветви транспортера 14,4 м. Для исключения провисания и смещения ленты между звездочками на пальцах цепей имеются ролики, которые катятся по направляющим. При этом с одной стороны одна направляющая гладкая, а с другой — направляющая имеет треугольное сечение. Соответственно, ролики также с одной стороны гладкие, а с другой имеют треугольную проточку. Проточка на роликах и треугольный выступ на направляющей обеспечивают отсутствие бокового смещения ленточного транспортера.

Вал с двумя ведущими звездочками жестко закреплен в хвостовой части аппарата, приводится во вращение в подшипниках от электродвигателя через вариатор, редуктор, цепную передачу и храповой механизм. Вариатор позволяет плавно регулировать скорость движения ленты в пределах от 2,5 до 5 м/ч. Движение ленты происходит прерывно из-за включения в кинематическую схему привода храпового механизма. Вал с двумя ведомыми звездочками имеет подвижные подшипники, он расположен в головной части экстрактора, где предусмотрено приспособление для натяжения цепей транспортера. Ленточный транспортер в экстракторе установлен не строго горизонтально. Ось ведущих звездочек распо-

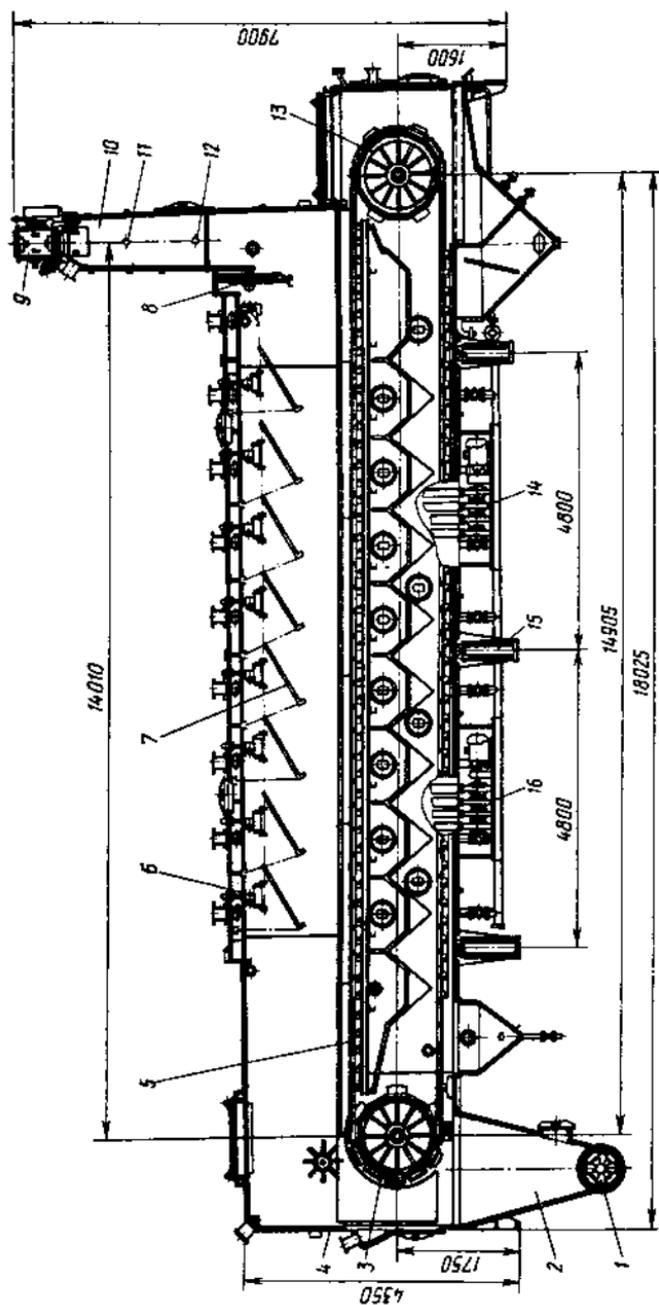


Рис. 9.4. Ленточный экстрактор МЭЗ-350

ложена на 150 мм выше оси ведомых звездочек. Это препятствует стеканию бензина по поверхности слоя материала в выводной бункер 2.

Особенностью экстрактора ленточного типа является использование в рабочем процессе (транспортирование слоя экстрагируемого материала) только верхней ветви ленточного транспортера. Нижняя ветвь транспортера нерабочая, и в этой зоне лента подвергается вспомогательным операциям (очистке круглой щеткой и промывке частью мисцеллы из дозирующего бачка).

Под верхней ветвью ленты расположены десять мисцеллосборников, восемь из которых соединены с соответствующими насосами, которые объединены в два четырехкорпусных насоса 14, 16. Каждый из восьми центробежных отдельных насосов питает мисцеллой соответствующую форсунку 6.

В крышке экстрактора в два ряда крепятся оросители для восьми ступеней экстрагирования. Каждый ороситель представляет собой форсунку специальной конструкции, помещенную в распределитель с отражающими плоскостями. При таком размещении оросителей они оказываются при работе экстрактора над движущимся на ленте слоем экстрагируемого материала. Двухрядное расположение оросителей с распределителями обеспечивает равномерное распределение растворителя по всей ширине слоя материала на ленте.

Для обеспечения равномерного распределения орошающей мисцеллы по слою экстрагируемого материала, получения хорошей проницаемости слоя, устранения скопления растворителя на верхней поверхности слоя экстрагируемого материала к крышке экстрактора на цепях подвешены грабельные рыхлители 7, которые прочесывают верхний слой материала.

Мисцеллосборники разделены перегородками, в которых имеются отверстия для перетока мисцеллы последовательно из сборника в хвостовой части экстрактора в головной.

Все рабочие органы экстрактора заключены в корпус 4, который выполнен из листовой стали и швеллеров в виде коробчатой конструкции. В верхней части корпуса расположен загрузочный бункер 10, над которым имеется шлюзовой затвор 9 с индивидуальным электроприводом. Загрузочный бункер экстрактора имеет два ограничителя 11, 12 (верхний и нижний) флажкового типа с микропереключателями МП-1 для автоматического управления загрузкой аппарата экстрагируемым материалом. При этом также обеспечивается создание слоя материала, играющего роль затвора, препятствующего прорыву паров растворителя за пределы объема экстрактора. В нижней части загрузочного бункера расположен вертикальный регулировочный шибер 8, снабженный указателем, при помощи которого устанавливается определенная высота (0,8—1,4 м) слоя материала.

В хвостовой части экстрактора снизу имеется разгрузочный бункер, который имеет сужающееся боковое сечение с расположенным в самом низу двусторонним лопастным шнеком *I* и шлюзовыми затворами.

На корпусе экстрактора для наблюдения за рабочим процессом в нескольких местах установлены иллюминаторы и электросветильники, а для ремонта — люки. Сверху корпуса практически на всю длину установлена съемная крышка, которая своей отбортовкой по всему периметру свободно ставится в желоб, не прерывающийся по всему периметру. Для предотвращения прорыва паров бензина из рабочего объема экстрактора в цех в месте стыковки корпуса и крышки, в желоб наливают воду и тем самым создают гидравлический затвор. Корпус экстрактора установлен на опорах *15*.

Экстрактор работает следующим образом. Экстрагируемый материал, подготовленный в виде лепестка, а также, возможно, в виде крупки, подается транспортером и после прохождения электромагнита через шлюзовую затвор поступает в загрузочный бункер, где автоматически поддерживается слой материала, опирающийся на ленту.

При движении ленты вместе с ней из загрузочного бункера транспортируется слой материала, высота которого регулируется шибером. На всем пути движения материала в рабочей зоне экстрактора на верхней ветви ленты происходит орошение слоя материала из восьми оросителей мисцеллой последовательно увеличивающейся концентрации в противотоке. Свежий материал орошается крепкой мисцеллой, а материал в конце пути на ленте орошается чистым растворителем.

Мисцелла или растворитель, фильтруясь через слой материала, экстрагирует из него масло. Пройдя через слой материала и сетчатую ленту, мисцелла стекает в соответствующий мисцеллосборник, откуда откачивается и подается вновь на орошение.

В принятой схеме циркуляции мисцеллы на ступени (из мисцеллосборника насосом мисцелла подается в ороситель, расположенный над этим же мисцеллосборником) противоточное движение мисцеллы осуществляется путем перелива ее в смежный мисцеллосборник. Направление движения мисцеллы к месту загрузки материала путем перелива из одного мисцеллосборника в другой обеспечивается соответствующим снижением уровня переливной щели в последовательности мисцеллосборников. В хвостовой части экстрактора проэкстрагированный материал после зоны стока разрыхляется разгрузочным разрыхлителем и сбрасывается в разгрузочный бункер. Здесь материал двусторонним лопастным шнеком подается на два шлюзовых затвора и выводится из экстрактора.

Мисцелла при фильтрации через высокий слой материала очищается от взвесей и не нуждается в специальной очистке на фильтрах после выхода из экстрактора.

Техническая характеристика экстрактора МЭЗ-350

Производительность экстрактора по семенам, т/сут:	
подсолнечника и хлопчатника	380
сои	140
Количество подаваемого в экстрактор растворителя, м ³ /ч	
	5—6
Масличность шрота (%) при переработке:	
подсолнечника и хлопчатника	1,0
сои	0,6—0,7
Концентрация мисцеллы (%) при переработке:	
подсолнечника и хлопчатника	25—30
сои	25—35
Установленная мощность электродвигателей приводов, кВт:	
экстрактора	3
шлюзового затвора загрузочного бункера	0,6
разгрузочного шнека и шлюзового затвора	
разгрузочного бункера	1,5
Габаритные размеры, мм	18450 × 3950 × 9750
Масса, кг	57 400

Перед пуском экстрактора в работу убеждаются в подготовленности узлов экстрактора к работе (проверяют наличие смазки в редукторах и подшипниках, натяжение и правильность установки цепи ленты-конвейера, крепление и регулирование верхних рыхлителей, отсутствие внутри экстрактора посторонних предметов, герметичность установки люков и иллюминаторов), а также исправности узлов экстрактора (фильтрующих сеток ленты, разгрузочного рыхлителя, и лопастного шнека, приводной станции, системы автоблокировки, автоматических ограничителей уровня, КИП и сигнальных устройств). Проверку работы механической части экстрактора проводят путем пуска его на холостом ходу в течение 15—20 мин. Не должно быть постороннего шума и других признаков неисправностей.

Пуск экстрактора (основного аппарата экстракционной линии) должен быть согласован с пуском смежных аппаратов. Пуск начинают с включения привода шлюзового затвора и ленты-конвейера, затем включают транспортер подачи материала на экстракцию. Как только материал начнет поступать в экстрактор, включают насосы и заполняют бензином мисцеллосборники. Как только слой материала подойдет под соответствующий ороситель, включают соответствующий рециркуляционный насос. Пускают экстрактор на малой скорости ленты (2,5 м/ч) и на малой подаче свежего растворителя (2—3 м³/ч).

На номинальную нагрузку переходят после выхода шрота из экстрактора в испаритель.

При обслуживании экстрактора контролируют технологические параметры процесса (нагрузка экстрактора по амперметру, качество поступающего материала, высота слоя материала на ленте, количество и температура растворителя, качество растворителя по наличию в нем воды), а также следят за технической исправностью узлов экстрактора (ленточный транспортер, привод, шлюзовые затворы, рыхлители, разгрузочный шнек, уплотнения, насосы, электродвигатели), состоянием трущихся частей и их смазкой.

Остановку экстрактора проводят последовательно, прекратив подачу исходного материала, выработав материал в загрузочном бункере до нижнего ограничителя. После этого выключают привод ленты, прекращают подогрев бензина, останавливают насосы, сливают мисцеллу из сборников на дистилляцию.

При работе на экстракторе принимают меры предосторожности против попадания растворителя в цех (нельзя отключать ограничители уровня в загрузочном бункере, допускать повышение температуры бензина выше нормы, переброску бензина в испаритель, давление внутри аппарата выше нормы, открывать люки и иллюминаторы), а также против механических поломок (нельзя выключать автоблокировку, снимать ограждения на приводах, производить ремонтные работы на ходу, отключать электромагнит, допускать отсутствие смазки трущихся деталей).

Карусельные экстракторы

В карусельных экстракторах реализуется тот же принцип, что и в ленточных, — принцип многоступенчатого орошения слоя маслосодержащего материала с фильтрацией рециркулирующей мисцеллы через слой экстрагируемого материала.

Из известных конструкций карусельных экстракторов рассмотрим экстракторы со стационарным днищем, разработанные фирмой «Экстехник» (ФРГ) и изготавливаемые фирмой СКЕТ. В нашу страну экстракторы поставляются в одно- и двухъярусном исполнении.

Одноярусный экстрактор (рис. 9.5) — это цилиндрический аппарат 4 с перфорированным стационарным днищем 5, над которым перемещается ротор 9 с радиальными перегородками 7, а под днищем размещаются мисцеллосборники 14, 15. Имеются загрузочные и разгрузочные устройства и насосы 1, 10, 11, привод, рециркуляционные насосы с оросителями 2, 3, 12.

Днище экстрактора неподвижно и имеет зерную (шелевую) конструкцию. При этом зерные прутья имеют концентрическое расположе-

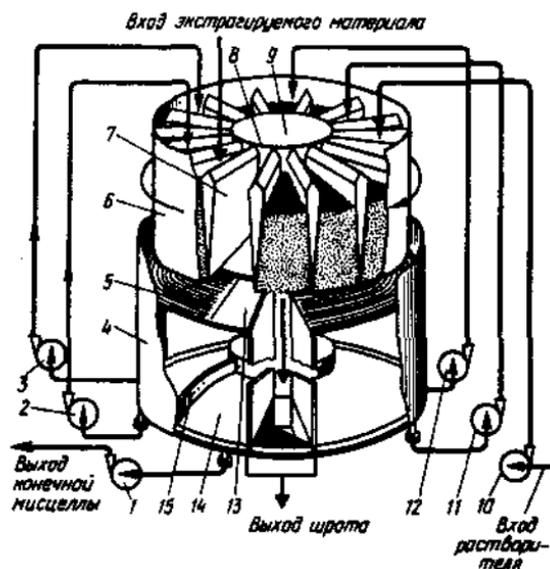


Рис. 9.5. Одноярусный роторный карусельный экстрактор

ние, а в сечении — трапециевидную форму. Зазор между смежными зерными прутьями через определенные участки прерывается особым переплетением зерных прутьев, что способствует выводу из зазора застрявших частиц. Нижняя кромка радиальной перегородки при движении ротора увлекает в движение вдоль зазора застрявшую частицу, и она, достигнув переплетения, попадает на наклонную плоскость и выскальзывает из зазора.

Основными частями ротора являются внутренняя 8 и внешняя 6 обечайки, образующие кольцевое пространство, которое разделено радиальными перегородками 7. В поперечном сечении каждая радиальная перегородка имеет сужающуюся книзу форму, что предохраняет от зависания материала при его выгрузке из секторного пространства ротора, выделенного двумя смежными радиальными перегородками. Выгрузку обезжиренного материала производят через секторный вырез в днище. Вслед за этим вырезом следует участок 13, выполненный сплошным, на котором происходит загрузка исходного материала для экстракции через бункер, снабженный мешалкой для предотвращения зависания материала. Для равномерной загрузки камеры экстрактора по всему радиусу материал из загрузочного бункера транспортируется несколькими параллельными шнеками разной длины. Загрузочный бункер снабжен уровнем.

Выгрузка обезжиренного материала происходит через разгрузочный бункер шнеком, который имеет регулируемую частоту вращения.

Двухъярусный экстрактор (рис. 9.6) представляет собой аппарат, состоящий из цилиндрического корпуса 2 и двух вращающихся роторов (верхнего 8 и нижнего 3), имеющих собственные валы 14, 18. У каждого ротора внешняя 15, 20 и внутренняя 16, 19 обечайки образуют кольцевое пространство, которое разделено вертикальными радиальными перегородками 4, 13 на 18 камер.

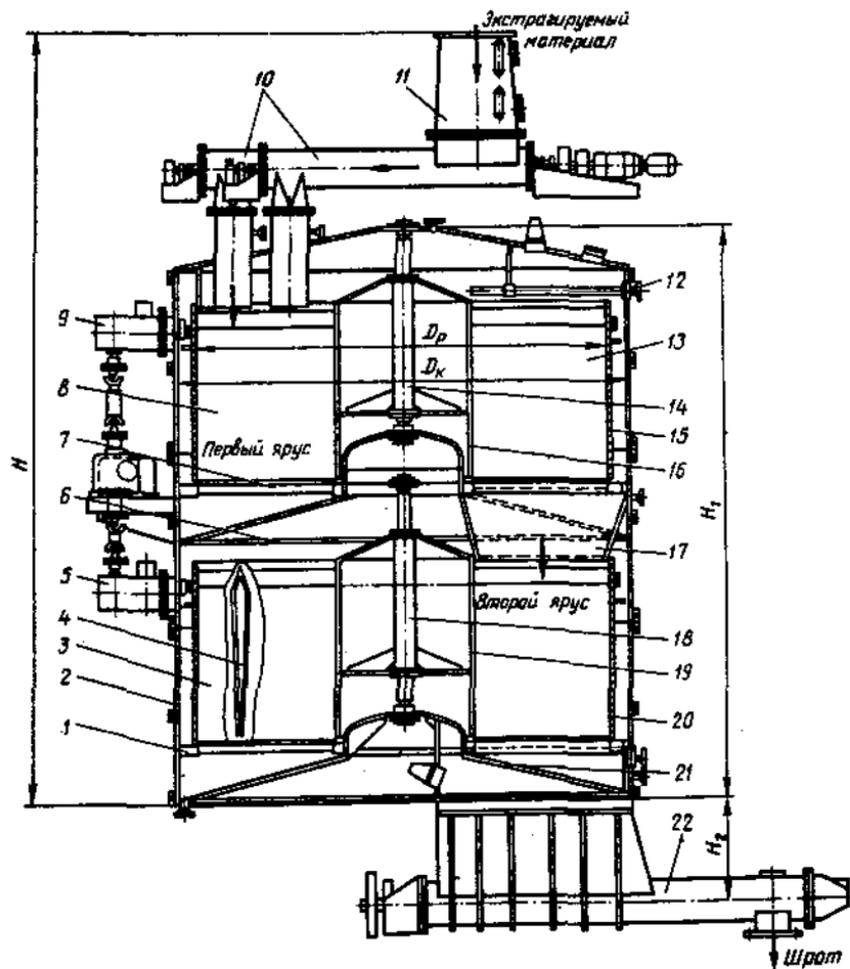


Рис. 9.6. Двухъярусный роторный карусельный экстрактор

В поперечном сечении эти перегородки имеют сужающуюся книзу форму, что способствует перегрузке материала на нижний ярус или в разгрузочный бункер без зависания в камере. Привод обоих роторов общий; они получают вращение через зубчато-цепные передачи 5, 9, которые, в свою очередь, получают вращение через валы с шарнирами. На обоих ярусах экстрактора по два днища: верхнее 1, 7 — зерное (шелевое) и нижнее 6, 21 — сплошное, имеющее уклон 12° к внешнему периметру экстрактора. На каждом сплошном нижнем днище расположены радиальные перегородки, выгораживающие камеры для сбора мисцеллы (мисцеллосборники) и направления ее к рециркуляционным насосам.

Загрузка исходного экстрагируемого материала происходит через загрузочный бункер 11 двумя параллельно расположенными шнеками 10 разной длины, что обеспечивает равномерность загрузки камеры экстрактора. Загрузочные шнеки имеют индивидуальные приводы.

На верхнем ярусе материал перемещается радиальными лопатками ротора по неподвижному зерному днищу и проходит восемь ступеней орошения мисцеллой, подаваемой рециркуляционными насосами через орошающие трубы 12 (разбрызгиватели). Система рециркуляции мисцеллы обеспечивает общее противоточное движение экстрагируемого материала и мисцеллы, т.е. по направлению к месту ввода материала растет концентрация рециркулируемой мисцеллы.

Совершив практически полный круг по верхнему ярусу, экстрагируемый материал через шахту перегрузки 17 пересылается из разгружаемой камеры верхнего яруса в загружаемую камеру нижнего яруса. На нижнем ярусе материал также перемещается радиальными лопатками нижнего ротора и проходит еще восемь ступеней орошения мисцеллой понижающейся концентрации. Непосредственно перед выходом из экстрактора материал на последней ступени орошается чистым растворителем и проходит зону стока растворителя. Материал выгружают через разгрузочный шнек 22, который имеет индивидуальный привод.

Чистый растворитель перед подачей в экстрактор подвергают сепарации от воды в водоосадителе и нагревают в теплообменнике до рабочей температуры $50-60^\circ\text{C}$. Орошение материала как на нижнем, так и на верхнем ярусе, производится с помощью рециркуляционных насосов через разбрызгиватели, и смещение разбрызгивателей по отношению к связанным с ними соответствующими мисцеллосборниками способствует общему противоточному движению материала и мисцеллы. Этому же способствует то, что перегородки, разделяющие мисцеллосборники нижнего и верхнего ярусов экстрактора, имеют вырезы, высота которых по отношению к смежным перегородкам обеспечивает перетекание мисцеллы из камеры в камеру, образуя противоточный поток по отношению к движению материала.

Для отвода мисцеллы на рециркуляцию из мисцеллосборников обоих ярусов экстрактора имеются соответствующие патрубки. В нижней части экстрактора имеется патрубок, через который мисцелла отводится с нижнего яруса экстрактора и с помощью насоса подается в орошающие трубы верхнего яруса.

В связи с тем, что в загружаемом материале содержится много мелких частиц, которые попадают в фильтрующую часть через слой мисцеллы, выводить ее из экстрактора на данной ступени нецелесообразно. Данная мисцелла из последнего мисцеллосборника подается насосом через разбрызгиватель на материал в третьей по ходу его движения камере. После фильтрации через слой материала на третьей ступени конечная мисцелла отводится из экстрактора.

Техническая характеристика двух модификаций двухъярусного роторного карусельного экстрактора

Типоразмер экстрактора	2/5000/1800	2/6000/1800
Производительность (в зависимости от вида семян и способа подготовки материала), т/сут	280–500	350–600
Масличность, %	0,5–1,0	0,5–1,0
Диаметр внутренний, мм:		
корпуса	5400	6500
ротора	5000	6000
Высота слоя материала в роторе, мм	1800	1800
Количество роторных камер в ярусе	18	18
Мощность привода, кВт :		
загрузочного шнека	4,6	4,6
ротора	4,6	4,6
разгрузочного шнека	6,7	9,0
Частота вращения, об/мин:		
загрузочного шнека	10–60	15–67
разгрузочного	10–44	0–125
Продолжительность одного оборота ротора, мин	29–173	34,5–208
Расход пара давлением 0,15 МПа для нагрева мисцеллы, кг/ч	700	850
Габаритные размеры, мм	9320 × 6650 × 1150	9200 × 7000 × 1150
Масса, кг	46 000	53 500

Вопросы теории и расчета экстракторов

Методика расчета экстракторов должна базироваться на учете: баланса массы, концентрационного равновесия в системе, кинетических закономерностей на всех этапах процесса и структуры потоков фаз в аппарате.

Расчет непрерывного процесса экстракции со встречным движением фаз начинается с задания производительности, концентраций во входящем и выходящем потоках, а также скоростей потоков фаз. Отметим, что применяемая в дальнейшем терминология распространена в маслоэкстракционном производстве.

В процессе экстракции растительных масел происходит межфазное перераспределение веществ: масло извлекается из частиц материала и в смеси с растворителем образует мисцеллу, а частицы материала насыщаются растворителем. При этом должен соблюдаться баланс по маслу, растворителю и экстрагируемому материалу. В ходе экстракции часть экстрагируемого материала — сухое обезжиренное вещество — остается неизменной и это позволяет упростить вывод балансовых уравнений.

Извлеченное из экстрагируемого материала удельное количество масла (на единицу массы сухого обезжиренного вещества), доли единицы

$$g_m = m_n - m_k, \quad (9.1)$$

где m_n и m_k — соответственно, начальная и конечная масляности материала на единицу массы сухого обезжиренного вещества, доли.

Удельное количество масла можно определить через его количество в отходящей мисцелле

$$g_m = G_{mc} c_{mc} / G_c, \quad (9.2)$$

где G_{mc} и G_c — соответственно, производительности экстрактора по отходящей мисцелле и сухому обезжиренному веществу, т/ч; c_{mc} — концентрация мисцеллы, доли.

Уравнения (9.1) и (9.2) можно приравнять и преобразовать относительно производительности экстрактора по сухому обезжиренному веществу

$$G_c = G_{mc} c_{mc} / (m_n - m_k). \quad (9.3)$$

Баланс по растворителю с учетом его распределения между потоками мисцеллы и шрота можно представить в виде

$$G_p = G_{mc} (1 - c_{mc}) + b_{шр} G_c, \quad (9.4)$$

где $b_{шр}$ — бензиномкость шрота на сухое обезжиренное вещество, доли.

Выражая G_{mc} в уравнении (9.3) и подставляя в (9.4), после преобразования получим

$$G_c = G_p / [b_{шр} + (m_n - m_k) (1 - c_{mc}) / c_{mc}]. \quad (9.5)$$

Решая уравнение (9.5) относительно других входящих в него величин, можно получить:

$$m_k = m_n - [(G_p - b_{шр} G_c) / G_c] [c_{mc} / (1 - c_{mc})] \quad (9.6)$$

$$c_{\text{мц}} = G_c(m_n - m_k) / [G_p - b_{\text{шр}} G_c + G_c(m_n - m_k)] \quad (9.7)$$

$$G_p = G_c [b_{\text{шр}} + (m_n - m_k) (1 - c_{\text{мц}}) / c_{\text{мц}}] \quad (9.8)$$

$$b_{\text{шр}} = [G_p - G_c(m_n - m_k)(1 - c_{\text{мц}}) / c_{\text{мц}}] / G_c \quad (9.9)$$

Баланс массы экстрактора для непрерывной и противоточной работы имеет общий вид для любой конструкции экстрактора и позволяет, после преобразования выше приведенных уравнений, выполнить расчет концентрации экстракта (мисцеллы) и его расход, если заданы начальная $M_n = 100 m_n / (1 + m_n)$ и конечная $M_k = 100 m_k / (1 + m_k)$, масличности материала (Б = 100 б / (1 + б), % на общий вес шрота) и соотношение растворитель-материал ($R = G_p / G_{\text{мат}}$, при этом $G_{\text{мат}} = G_c 100 / (100 - M_n)$).

В частности, концентрация отходящей мисцеллы ($K_{\text{мц}}$, %) определяется из уравнения баланса массы (9.7)

$$K_{\text{мц}} = \frac{\frac{M_n}{100 - M_n} - \frac{M_k}{100 - M_k}}{\frac{100R}{100 - M_n} - \frac{Б}{100 - Б} + \frac{M_n}{100 - M_n} - \frac{M_k}{100 - M_k}} \cdot 100 \quad (9.10)$$

Расход мисцеллы ($G_{\text{мц}}$, кг/ч) равен

$$G_{\text{мц}} = G_{\text{мат}} [(M_n - M_k) / (100 - M_k)] (100 / K_{\text{мц}}) \quad (9.11)$$

Рассмотрим бесступенчатое противоточное контактирование. Материальный баланс на дифференциальном участке экстрактора имеет вид

$$dM = -V dc^{(2)} = k_T (c^{(2)} - c^{*(2)}) dF \quad (9.12)$$

Здесь dM — количество извлеченного масла в единицу времени (кг/с) из частиц с поверхностью dF (m^2) на дифференциальном участке экстрактора; V — объемный (в расчете на объем пор) расход экстрагируемого материала (m^3/c); k_T — коэффициент массопередачи (m/c); $c^{(2)}$ — концентрация масла в расчете на поровый объем экстрагируемого материала ($кг/m^3$) и $c^{*(2)}$ — концентрация равновесная с внешним раствором ($кг/m^3$).

В интегральном виде:

$$- \int_{c_0^{(2)}}^{c^{(2)}} \frac{dc^{(2)}}{c^{(2)} - c^{*(2)}} = \int_0^F \frac{k_T}{V} dF \quad (9.13)$$

Левая часть этого уравнения — число единиц переноса (ЧЕП), которое обозначают $N_{\text{к.т}}$ и называют «кажущимся», т.к. здесь принимается идеальное противоточное контактирование, от которого в действитель-

ности могут быть существенные отклонения. Если допустить, что $k_r = \text{const}$ и $M = V(c_n^{(2)} - c_x^{(2)})$, то уравнение (9.13) примет вид

$$\int_{c_x^{(2)}}^{c_n^{(2)}} \frac{dc^{(2)}}{c^{(2)} - c_x^{(2)}} = \frac{k_m F}{M} (c_n^{(2)} - c_x^{(2)}), \quad (9.14)$$

отсюда:

$$M = k_r F (c_n^{(2)} - c_x^{(2)}) / N_{k,r} \quad (9.15)$$

Для того чтобы определить $N_{k,r}$, проводится интегрирование левой части уравнения (9.14), используя уравнение материального баланса для части аппарата в пределах от сечения выхода проэкстрагированной твердой фазы и, соответственно, противоточно поступающего растворителя с относительным объемным расходом $\beta = V/W$ и объемной концентрацией $c^{(1)}$ (индексы означают: н — начальное и к — конечное), до промежуточного сечения аппарата;

$$c^{(1)} = c_n^{(1)} + \beta (c^{(2)} - c_x^{(2)}), \quad (9.16)$$

не учитывая адсорбционные эффекты при равновесии, примем $c^{*(2)} = c^{(1)}$

$$\begin{aligned} N_{k,m} &= \int_{c_x^{(2)}}^{c_n^{(2)}} \frac{dc^{(2)}}{(c^{(2)} - c^{*(2)})} = \int_{c_x^{(2)}}^{c_n^{(2)}} \frac{dc^{(2)}}{(c^{(2)} - c^{(1)})} = \int_{c_x^{(2)}}^{c_n^{(2)}} \frac{dc^{(2)}}{(c^{(2)} - c_n^{(1)} - \beta c^{(2)} + \beta c_x^{(2)})} = \\ &= \int_{c_x^{(2)}}^{c_n^{(2)}} \frac{dc^{(2)}}{\{c^{(2)}(1-\beta) - [c_n^{(1)} - \beta c_x^{(2)}]\}} = \frac{1}{(1-\beta)} \ln \frac{c_n^{(2)}(1-\beta) - (c_n^{(1)} - \beta c_x^{(2)})}{c_x^{(2)}(1-\beta) - (c_n^{(1)} - \beta c_x^{(2)})} = \\ &= \frac{1}{(1-\beta)} \ln \frac{c_n^{(2)} - c_n^{(1)} - \beta(c_n^{(2)} - c_x^{(2)})}{c_x^{(2)} - c_n^{(1)}} = \frac{1}{(1-\beta)} \ln \frac{c_n^{(2)} - c_x^{(2)}}{c_x^{(2)} - c_n^{(1)}} \quad (9.17) \end{aligned}$$

С учетом материального баланса (9.16) и имея в виду, что для практически значимого случая $c_n^{(1)} = 0$, эффективность экстракции имеет вид

$$\eta = (c_n^{(2)} - c_x^{(2)})/c_n^{(2)} = 1 - (M_k/M_n)\{(100 - M_n)/(100 - M_k)\}; \quad (9.18)$$

уравнение для определения кажущегося числа единиц переноса по твердой фазе без учета адсорбционных эффектов принимает вид

$$N_{k,m} = \frac{1}{(1-\beta)} \ln \frac{1-\eta\beta}{1-\eta}. \quad (9.19)$$

В общем случае, как указывалось выше, необходимо учитывать силы адсорбции при равновесии (при этом наклон равновесной зависимости

$m = c^{(1)}/c^{*(2)}$, который экспериментально определен для подсолнечного жмыха $m = 0,07-0,1$ и, соответственно, фактор экстракции $\Lambda = m/\beta$.

Соотношение между параметрами процесса экстракции следующее

$$\eta = f\Lambda, \quad (9.20)$$

где $\eta = (c_n^{(2)} - c_k^{(2)})/(c_n^{(2)} - c_k^{*(2)})$ — эффективность экстракции; $f = (c_k^{(1)} - c_n^{(1)})/(mc_n^{(2)} - c_k^{(1)})$ — фактор разделения ($c_k^{(1)} = K_{\text{мил}}\rho_{\text{мил}}/100$, кг/м³; $\rho_{\text{мил}} = 895,6 + 2,3K_{\text{мил}} - 0,7T$, кг/м³); $\Lambda = m/\beta$ — фактор экстракции.

Тогда соотношения для определения кажущихся чисел единиц переноса: а) по твердой фазе

$$N_{\text{к.т.}} = \frac{\Lambda}{(1-\Lambda)} \ln \frac{1-f\Lambda}{1-f} \quad \text{или} \quad N_{\text{к.т.}} = \frac{\Lambda}{(1-\Lambda)} \ln \frac{\Lambda(1-\eta)}{\Lambda-\eta}; \quad (9.21)$$

б) по жидкой фазе

$$N_{\text{к.ж.}} = \frac{1}{(1-\Lambda)} \ln \frac{1-f\Lambda}{1-f} \quad \text{или} \quad N_{\text{к.ж.}} = \frac{1}{(1-\Lambda)} \ln \frac{\Lambda(1-\eta)}{\Lambda-\eta}. \quad (9.22)$$

Соответственно, связь между числами единиц переноса определяется через фактор экстракции

$$N_{\text{к.т.}} = \Lambda N_{\text{к.ж.}} \quad (9.23)$$

Для экстракторов поток массы пропорционален общей движущей силе массопередачи, т.е. локальной разнице концентраций экстрагируемого вещества в обеих фазах. В таких случаях концепция ЧЕП (число единиц переноса), при которой сопротивление массопередаче сосредоточено на границе твердое тело—жидкость, является общепринятой основой для метода расчета. Разделение, которое должно быть достигнуто, можно выразить через ЧЕП в режиме движения фаз, характеризующемся их «абсолютным вытеснением».

В таких условиях

$$N_{\text{к.ж.}} = k_{\text{ож}} sV/v_{\text{ж}} = k_{\text{ож}} s\tau, \quad (9.24)$$

где $k_{\text{ож}}$ — осредненный коэффициент массопередачи по жидкой фазе, м/с; s — удельная эффективная межфазная площадь на единицу объема слоя, м²/м³; V — объем слоя, м³; $v_{\text{ж}}$ — расход потока жидкой фазы, м³/с; τ — время экстракции, с.

С учетом баланса массы для линейного соотношения равновесия получено хорошо известное уравнение Колбурна (9.22).

На рис. 9.7 уравнение (9.22) представлено в графической форме, в зависимости от эффективности экстракции η как параметра.

Очевидно, что рост как $N_{к.ж}$, так и Λ , обеспечивает высокую эффективность процесса, практически при $\Lambda > 1$ даже при низких значениях $N_{к.ж}$ достигается требуемая в настоящее время эффективность экстракции. Оценка работы промышленного ленточного экстрактора типа МЭЗ при переработке лещенка подсолнечного жмыха показала, что обеспечивается его удовлетворительная работа при $\Lambda = 0,6$.

С использованием полученных зависимостей для противоточного процесса без учета перемешивания по обеим фазам можно дать предварительную оценку направления в создании эффективных экстракционных аппаратов.

Для реального процесса:

$$N_{и.ж} = f(N_{к.ж}, \Lambda, \text{структура потока}). \quad (9.25)$$

Структура потока фаз внутри аппаратов определяется на макромасштабном уровне локальным видом контакта фаз, неоднородностью распределения потока растворителя в слое твердой фазы и т.д.

Реальные экстракторы, в том числе конвейерные (ленточные и карусельные) и противоточные шнековые, не могут быть описаны простыми соотношениями. Структуры потоков взаимодействующих фаз часто описываются диффузионными моделями или моделями обратного перемешивания.

Корреляции между $N_{к.ж}$ и $N_{и.ж}$ на основе по возможности более полного учета особенностей контактирования потоков в реальной конструкции устанавливаются на основе математического моделирования структуры потоков взаимодействующих фаз.

Для ленточных экстракторов установлена корреляция

$$(N_{и.ж}/\Lambda)/N_{к.ж} = 1 + 1,035n^{-1,42}\Lambda^{-0,71}D^{0,65}N_{к.ж}^{0,64} \quad (9.26)$$

$$(2 < n < 7; 0,3 < \Lambda < 2; 0,25 < D < 2; 0,3 < N_{к.ж} < 10; \eta < 0,99),$$

где n — число ступеней экстракции; $D = mh/(1-h)$ — распределительное отношение; h — доля межчастичного объема в экстрагируемом слое.

Соответственно, связь между числами единиц переноса в расчете по концентрациям различных фаз определяется через фактор экстракции по соотношению (9.23).

Для того чтобы рассчитать требуемое время пребывания твердых частиц в экстракторе для достижения требуемой степени разделения, из со-

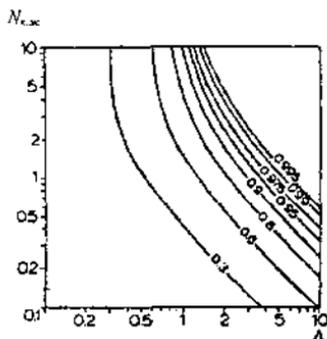


Рис. 9.7. Эффективность противоточного процесса экстракции

отношении (9.24) необходимо знание общего коэффициента массопередачи k_0 , входящего в уравнение для N_x .

Согласно двухплечной теории Льюиса, k_0 зависит от обоих коэффициентов массопередачи — в непрерывной жидкой фазе k_x , и дисперсной твердой фазе k_r . Расчет параметров массопередачи заключается в определении параметров внутреннего и внешнего массопереноса, которые связаны критериальным уравнением

$$1/Sh_0 = 1/Sh_r + 1/2Bi, \quad (9.27)$$

где $Sh = k\delta/D$ — число Шервуда (δ — характерный размер частиц; k и D — соответственно, коэффициент массопередачи (или массоотдачи) и коэффициент диффузии, относящийся к одной фазе); $Bi = m(\delta/2)k_x/D_m$ — число Био.

Число Био удобно определять через число Шервуда для жидкой фазы

$$Bi = m(D_m/2D_r)Sh_x, \quad (9.28)$$

где D_m , D_r — соответственно, коэффициенты свободной молекулярной и внутренней диффузии, m^2/c .

$$Sh_x = h j_m Re (Sc)^{0.33}/h, \quad (9.29)$$

где $Re = \delta \rho_x w_x / \mu_x$ — число Рейнольдса.

Здесь ρ_x , μ_x — плотность и вязкость мисцеллы; w_x — скорость мисцеллы.

Фактор внешней массоотдачи

$$h j_m = 0,765/Re^{0.82} + 0,365/Re^{0.38}. \quad (9.30)$$

Число Шмидта

$$Sc = \mu_x / \rho_x D_m. \quad (9.31)$$

Коэффициент массопередачи дисперсной твердой фазы k_r зависит от времени. Установлено, что для экстрагирования число Шервуда $Sh_r = k_r d_r / D_r$ имеет асимптотическое значение для длительных времен контакта, так что для постоянного коэффициента диффузии D_r в твердой фазе k_r имеет постоянное значение, которое может быть вычислено из аналитического решения уравнения диффузии с граничными условиями, относящимися к прямотоку или противотоку.

Зависимость для расчета в общем случае (включая малые числа Био ($Bi < 100$)) асимптотического значения числа Шервуда по твердой фазе для частиц в форме пластины (лепестка) имеет вид

$$Sh_{m,a} = \frac{Bi \left[6(Bi + 2,25) + (\Lambda - 1)(Bi + 3)\pi^2 / 2 \right]}{Bi \Lambda (Bi + 2,25) + (\Lambda - 1) \left[3(Bi + 2,25) - (Bi + 3)\pi^2 / 4 \right]}. \quad (9.32)$$

При незначительном влиянии сопротивления внешней массоотдачи (это имеет место при $Bi \rightarrow \infty$ и практически достаточно $Bi > 100$) соотношение (9.32) в результате предельного перехода упрощается

$$Sh_{m,a} = \frac{1}{\Lambda} \left[6 + \frac{(\Lambda - 1)\pi^2}{2} \right]. \quad (9.33)$$

Переход на другие формы частиц производится по соотношению

$$Sh_{m,a,v} = v Sh_{m,a} - 4(v - 1). \quad (9.34)$$

Коэффициенты формы v принимают значение: $v = 1$ — пластина (лепесток); $v = 2$ — цилиндр (гранула); $v = 3$ — шар (крупка).

Таким образом, используя правило аддитивности для сопротивлений массопередаче, k_0 может быть определен из оценочного значения k_* и асимптотического значения k_r . Хотя это правило точно только для постоянных значений k_r и k_* , ошибка при этом мала. Заключительным этапом является расчет размера экстрактора из требуемого времени пребывания и заданной производительности.

Основные зависимости для расчета производительности и мощности привода колонных аппаратов.

Производительность для колонного аппарата (НД)

$$Q = 15\pi D^2 S n \rho \zeta \varphi.$$

Мощность для колонного аппарата (НД):

— шнек загрузочной колонны

$$N_z = \pi D^2 n f \zeta h_1 (\rho_r - \rho_*) (mS + D/30) / 24000 \eta;$$

— шнек горизонтальный (переходный)

$$N_p = \pi D^2 n f \zeta l (\rho_r - \rho_*) (S + Dm/30) / 24000 \eta;$$

— шнек разгрузочный

$$N_p = \pi D^2 n \zeta [(\rho_r - \rho_*) h_x + \rho_p h_o] [(1 + f)mS + Df/30] / 24000 \eta.$$

Здесь Q — производительность, т/ч; $\varphi = 0,7-0,8$ — коэффициент проскальзывания; n — частота вращения вала, об/мин; ρ — объемная масса материала, т/м³; D — наружный диаметр шнеков, м; S — шаг шнека, м; $\zeta = 0,7-0,8$ — коэффициент заполнения; h_1 — высота слоя материала на отдельной лопасти, м; ρ_r, ρ_* — плотности твердой и жидкой фаз, т/м³; η — КПД привода; f — коэффициент трения материала о стенки корпуса; $m = 0,5-0,7$ — коэффициент бокового распора.

Основные зависимости для расчета производительности и мощности привода ленточных и карусельных экстракторов.

Производительность:

— для ленточных экстракторов

$$Q = 3600bhv\rho$$

— для карусельных экстракторов

$$Q = \pi(D_k^2 - d_k^2)H n \rho/4.$$

Мощность:

— для ленточных экстракторов

$$N = (10v/\eta)\{(bhL\rho_p + G_o)(\mu d + 2k)\beta/D + h^2L\rho_p\xi f\}$$

— для карусельных экстракторов

$$N = \pi H \rho_p f (D_k^3 - d_k^3) / 600 \eta,$$

где Q — производительность, т/ч; v — скорость движения конвейера, м/с; b — ширина конвейера, м; h — высота слоя материала, м; ρ — объемная масса материала, т/м³; L — длина конвейера, м; ρ_p — объемная масса материала с учетом задержки растворителя в слое, т/м³; G_o — масса движущихся частей транспортера, т; μ — коэффициент трения в подшипниках скольжения; d — диаметр подшипника скольжения, м; k — коэффициент трения качения по поверхности роликов; $\beta = 1,2-1,5$ — коэффициент, учитывающий трение в ребрах и торцах подшипника; ξ — коэффициент бокового распора слоя материала; f — коэффициент трения материала о стенки корпуса и днище; η — КПД привода; D — наружный диаметр роликов; D_k, d_k — наружный и внутренний диаметр карусели, м; H — высота слоя материала, м; n — частота вращения карусели, об/ч.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные требования к процессу экстракции?
2. Каков механизм экстрагирования растительных масел?
3. Каковы основные факторы процесса экстракции?
4. Как устроен и работает вертикальный шнековый экстрактор?
5. Какие особенности эксплуатации и техники безопасности работы на вертикальном шнековом экстракторе?
6. Как устроен и работает ленточный экстрактор?
7. Какие особенности эксплуатации и техники безопасности работы на ленточном экстракторе?
8. Как устроен и работает карусельный одноярусный экстрактор?
9. Как устроен и работает карусельный двухъярусный экстрактор?

ГЛАВА 10.

АППАРАТЫ ДЛЯ ДИСТИЛЛЯЦИИ МИСЦЕЛЛЫ

Под дистилляцией масляных мисцелл растительных масел понимают двухэтапный процесс разделения мисцеллы на два компонента: экстракционное масло (нелетучее) и экстракционный бензин (который переводится в парообразное состояние под действием тепла глухого и острого водяного пара с последующей его конденсацией).

На первом этапе дистилляции мисцеллы отгонку растворителя осуществляют путем передачи жидкости необходимого количества тепла через теплообменную поверхность, т.е. происходит обычный процесс выпаривания. Обычно предварительную дистилляцию производят под вакуумом (0,01—0,04 МПа) или под атмосферным давлением, в зависимости от числа ступеней установки.

На втором этапе, т.е. окончательной дистилляции, отгонку растворителя осуществляют в токе острого водяного пара, обычно под вакуумом (0,03—0,06 МПа) и обогревом аппарата глухим водяным паром. Дистилляция мисцеллы с острым водяным паром необходима для того, чтобы температуру процесса отгонки поддерживать в допустимых пределах (примерно 100—110°C). С увеличением температуры процесса происходят резкие ухудшения качества экстракционного масла (увеличивается кислотное число, цветность и изменяется ряд других качественных показателей масла), что значительно осложняет дальнейшую переработку масла и снижает выход рафинированного масла. При отгонке растворителя из мисцеллы в токе острого водяного пара в результате снижения давления уменьшается температура кипения мисцеллы, т.е. отгонка растворителя происходит при более низкой температуре.

Получаемое экстракционное масло должно удовлетворять соответствующим требованиям: температура вспышки не менее 225°C и влажность не более 0,3%.

Отгонку растворителя из мисцеллы осуществляют в двух-, трех- и четырехступенчатых установках, в которых в качестве предварительных и окончательных дистилляторов могут, соответственно, быть один и один, два и один, два и два аппарата.

Дистилляционные аппараты экстракционной линии НД-1250

Обычно в типовой линии дистилляции мисцеллы процесс предварительной дистилляции осуществляют последовательно в двух одинаковых по конструкции аппаратах с восходящей пленкой жидкости.

Предварительный пленочный дистиллятор. На рис. 10.1 представлен общий вид пленочного предварительного дистиллятора, который состоит из двух основных секций (нагревательной 3 и сепарационной 8), соединенных между собой. Нагревательная секция 3 представляет собой цилиндрический корпус 2, внутри которого

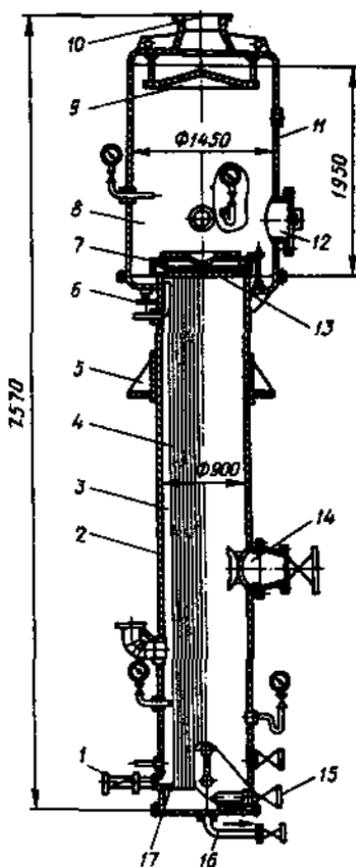


Рис. 10.1. Предварительный трубчатый пленочный дистиллятор

установлен пучок нагревательных трубок 4, развальцованных в верхней и нижней трубных решетках 13 и 17. Над верхней трубной решеткой 13 расположен центробежный сепаратор 7, выполненный из спирально изогнутых пластин. В сепарационной секции 8 вмонтирован каплеотражатель 9.

Пленочный дистиллятор снабжен патрубками 14 и 15 для подвода глухого водяного пара и мисцеллы, патрубками 1 и 6 для отвода конденсата пара и упаренной мисцеллы, патрубка 10 для паров растворителя и патрубка 16 для окончательного слива мисцеллы из аппарата. Кроме этого, в корпусе 11 сепарационной секции 8 приварен люк 12. Дистиллятор смонтирован лапами 5 в перекрытиях здания в вертикальном положении.

Аппарат работает следующим образом. Исходная мисцелла, нагретая до температуры близкой, к температуре кипения, подается через патрубок 15 в нижнюю часть нагревательной секции 3. Снизу по обогреваемым трубкам 4 мисцелла поднимается вверх, где по мере подъема нагревается, закипает и в виде потока парожидкостной смеси с большой скоростью ударяется о пластины центробежного сепаратора 7, на-

правляющего парожидкостную смесь к стенке корпуса 11. Отделившиеся пары растворителя поднимаются вверх, а механически уносимые капельки мисцеллы задерживаются каплеотражателем 9. Далее паровой поток через патрубок 10 поступает на конденсацию в конденсатор.

Упаренная мисцелла через патрубок 6 отводится на следующую ступень дистилляции. В греющую камеру секции 3 через патрубок 14 подаются глухой насыщенный водяной пар под давлением до 0,3 МПа.

На первой ступени, работающей при атмосферном давлении, в пленочном дистилляторе мисцеллу упаривают до концентрации 60–70% по маслу. На второй ступени в пленочном дистилляторе мисцеллу доводят до концентрации 90–95%, вакуум поддерживают в интервале 0,01–0,03 МПа.

Окончательный дистиллятор. Он предназначен для отгонки растворителя из высококонцентрированной мисцеллы. Дистиллятор (рис. 10.2) состоит из соединенных последовательно распылительной 6, пленочной 4 и дезодорационной 2 камер, которые заключены в паровые рубашки 5, 3 и 1. Над распылительной камерой 6 установлен каплеуловитель 10 с двумя отбойниками 11 и 13.

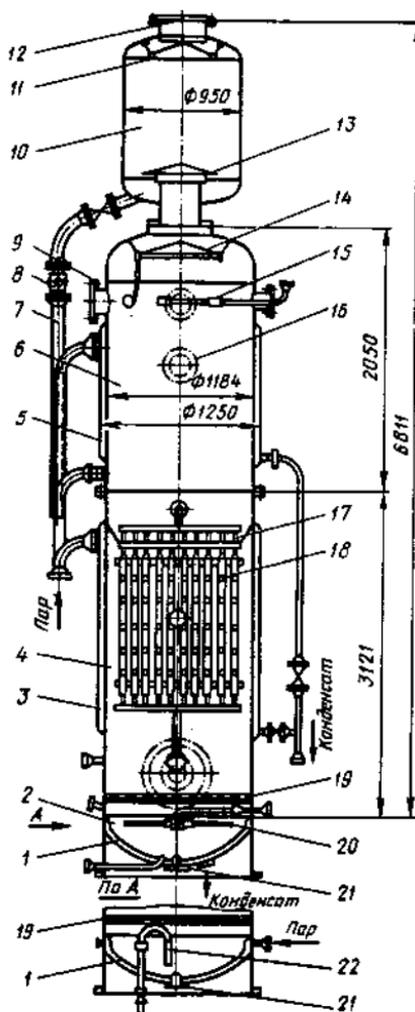
Техническая характеристика предварительного дистиллятора с восходящей пленкой

Производительность, м ³ /ч	до 12
Поверхность теплообмена, м ²	100
Диаметры (наружный/внутренний) греющих трубок, мм	35/30
Длина греющих трубок, мм	5000
Масса, кг	4610

В распылительной камере 6 расположены три форсунки 15, соединенные с патрубком для подачи мисцеллы. В пленочной камере 4 установлены обогреваемые трубками змеевика 17 щитки 18. В дезодорационной камере находятся крестообразный барботер 20, выполненный из перфорированных трубок, сетчатая тарелка 19 и переливная трубка 22, предназначенная для отвода готового масла.

Кроме того, окончательный дистиллятор снабжен перфорированной трубкой пеногасителя 14, двумя смотровыми окнами 16, люком-лазом 9, трубой 7 с фонарем 8 для слива и наблюдения за стоком мисцеллы из каплеуловителя 10 и патрубком 21 для окончательного слива жидкости из аппарата.

Окончательный дистиллятор работает следующим образом. Исходная, предварительно нагретая до 110–115°C мисцелла под давлением до 0,3 МПа распыляется с помощью форсунок 15 в дистилляторе под вакуумом. Из мельчайших капелек мисцеллы, имеющих большую площадь



дяного пара 0,02–0,03 МПа (избыточное), его температура 170–190°C. Температура отходящей паровой смеси должна быть на 10–15 °С выше температуры конденсации водяного пара при данном давлении в аппарате, а вакуум поддерживают в интервале 0,04–0,06 МПа.

Рис. 10.2. Окончательный дистиллятор

межфазной поверхности, интенсивно происходит испарение растворителя. Далее капельки высококонцентрированной мисцеллы попадают на обогреваемые шитки 18, по которым в виде пленки стекают вниз в противотоке с острым водяным паром; при этом из нее происходит дополнительная отгонка растворителя. Масло со следами растворителя попадает в дезодорационную камеру. Здесь слой масла, поддерживаемый переливной трубой на уровне 400–450 мм, интенсивно барботируется острым перегретым водяным паром. В дезодорационной камере происходит окончательная отгонка следов растворителя. Готовое масло через переливную трубу 22 откачивается насосом в бачки для масла.

Температуру масла в дезодорационной камере поддерживают не более 115°C. Давление острого во-

Техническая характеристика окончательного дистиллятора линии НД-1250

Производительность по маслу, т/сут:	
с обогревом шитков	40
без обогрева шитков	30
Площадь поверхности нагрева, м ² :	
распылительной камеры	3,9
пленочной камеры	6,8
дезодорационной камеры	1,6
шитков	14
первого змеевика пленочной камеры	2
Масса, кг	4100

Дистилляционные аппараты экстракционной линии МЭЗ-350

Дистилляционная установка линии МЭЗ-350 работает по четырехступенчатой схеме: две предварительные и две окончательные ступени.

Первая ступень предварительной дистилляции представляет собой выпарной аппарат с принудительной циркуляцией, состоящий из экономайзера 1, сепаратора 3 и циркуляционного насоса 2, объединенных в замкнутый контур трубопроводом с системой автоматического перепуска 4 (рис. 10.3).

Сепаратор предназначен для разделения парожидкостной смеси и отведения из газового потока капелек мисцеллы. Сепаратор (рис. 10.4)

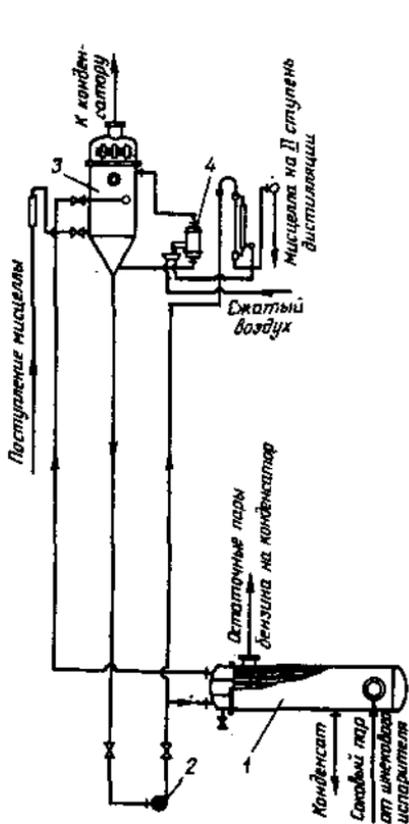


Рис. 10.3. Схема дистиллятора I ступени

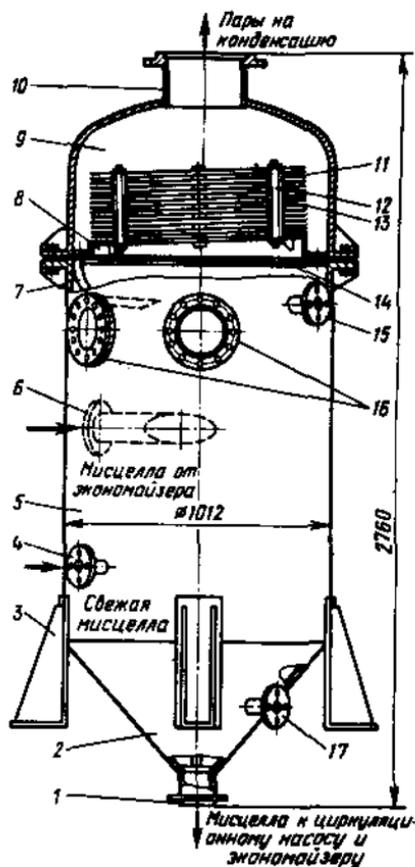


Рис. 10.4. Сепаратор

состоит из вертикального корпуса 5, сферической крышки 9 и конического днища 2. Под сферической крышкой установлен дисковый каплеотбойник 11, установленный на опору 8 и кольцо 14. Слив жидкости осуществляется через сливную трубу 7. Дисковый каплеотбойник состоит из пакета параллельно расположенных дисков 13 с отверстиями в центре, а верхний диск выполнен сплошным. Диски скреплены стяжными болтами 12, при этом между дисками установлены кольца, фиксирующие зазор между ними. Сепаратор снабжен патрубками 4 и 6 для подвода исходной и рециркуляционной мисцеллы, патрубками 1 и 10 для отвода упаренной мисцеллы и паров растворителя, и патрубками 15 и 17 для системы автоматического ограничения уровня, поддерживающей уровень жидкости в сепараторе и регулирующей отвод упаренной мисцеллы из первой ступени.

Экономайзер (рис. 10.5) — трубчатый четырехходовой с плавающей головкой теплообменник, обогреваемый соковыми парами шнекового испарителя. Предусмотрена возможность очистки теплообменных трубок 3 путем вытаскивания пучка теплообменных труб из корпуса экономайзера. Экономайзер снабжен патрубками для подвода 1 и отвода 8 мисцеллы, подвода соковых паров шнекового испарителя 5 и конденсатора 7, патрубком для отвода несконденсированных газов 2.

Первая ступень дистилляции работает следующим образом. Исходная мисцелла концентрацией 25—35% и температурой 40—45°C через расходомер и патрубок 4 поступает в сепаратор, где смешивается с циркулирующей мисцеллой. Через патрубок 1 мисцелла откачивается циркуляционным насосом и нагнетается в экономайзер. Здесь мисцелла перегревается и далее по трубопроводу поднимается вверх в сепаратор. При

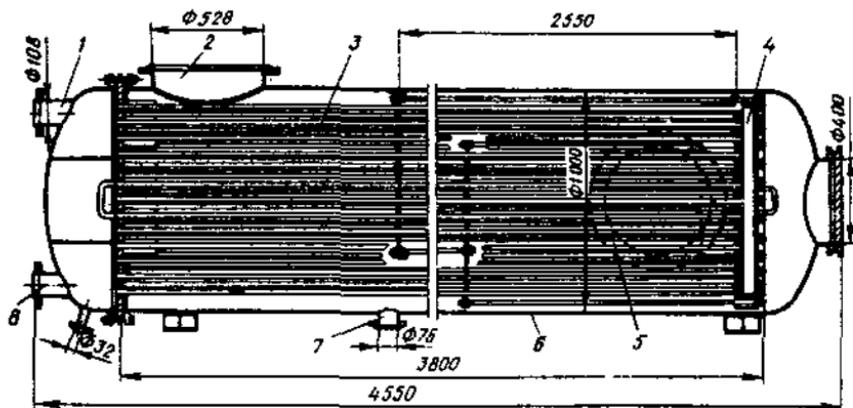


Рис. 10.5. Экономайзер

входе в последний мисцелла вскипает, так как разница в высоте между точкой ввода циркуляционной мисцеллы и экономайзером составляет 4,5 м. Парожидкостная смесь поступает в сепаратор по касательной. Стекающая по внутренней стенке корпуса сепаратора парожидкостная смесь разделяется на газовую фазу и упаренную мисцеллу. Пары бензина при прохождении между дисками каплеотбойника 11 освобождаются от уносимых капелек мисцеллы, которые затем через переливную трубу 7 возвращаются в поток жидкости. Далее через патрубок 10 пары отводятся на конденсацию. Упаренная мисцелла смешивается с исходной мисцеллой и через патрубок 1 отбирается циркуляционным насосом; следующий цикл движения аналогичен вышеописанному. При достижении в сепараторе заданного уровня мисцеллы срабатывает система автоматического поддержания уровня — открывается кран на линии передачи мисцеллы на вторую ступень, и упаренная мисцелла с концентрацией 40—50% отводится на дальнейшую обработку.

Техническая характеристика первой ступени дистилляции

<i>Экономайзер</i>	
Площадь поверхности нагрева, м ²	78,6
Диаметр труб (наружный/внутренний), мм	19/15
Длина трубок, мм	3750
Масса, кг	2818
<i>Сепаратор</i>	
Вместимость, м ³	0,75
Масса, кг	800

Вторая ступень дистилляции представляет собой выпарной аппарат с естественной циркуляцией жидкости (рис. 10.6). Этот аппарат состоит из вертикальной трубчатой греющей камеры и сепаратора, аналогичного по конструкции сепаратору первой ступени. Вертикальная трубчатая греющая камера 4 выполнена из корпуса 6 с верхней выходной камерой 8 и нижней сборной камерой 2. Верхняя камера 8 соединяется через патрубок 9 с патрубком 14 сепаратора 15. Нижняя сборная камера 2 патрубком 12 соединена с циркуляционной трубой 17.

В греющей камере 4 расположен пучок теплообменных трубок 11, развальцованных в верхней и нижней трубных решетках. Греющая камера 4 снабжена патрубком для окончательного слива жидкости 1, патрубком 13 для подвода исходной мисцеллы, патрубком 10 для подвода греющего водяного пара, патрубком 3 для отвода конденсата, патрубком выхода воздуха 7 и лапами-опорами 5. Сепаратор 15 снабжен трубой 16 и циркуляционной трубой 17, которые соединены между собой через краны 18 и 19.

Вторая ступень дистилляции работает следующим образом. Исходная мисцелла концентрацией 40—50% поступает через патрубок 13 в нижнюю сборную камеру 2, где смешивается с циркуляционной мисцеллой и поднимается вверх по теплообменным трубкам 11. По мере подъема мисцеллы в трубках 11, обогреваемых глухим водяным паром,

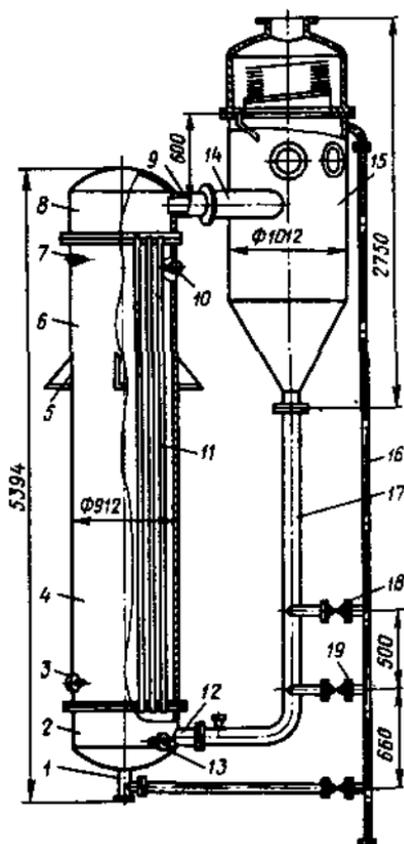


Рис. 10.6. Дистиллятор
II ступени

Техническая характеристика дистиллятора второй ступени

Поверхность нагрева, м ²	74
Количество теплообменных труб, шт.	151
Диаметр труб (наружный/внутренний), мм	40/34
Длина труб, мм	3486
Вместимость сепаратора, м ³	0,75
Масса аппарата, кг	3695

она нагревается до температуры кипения, вскипает и в виде парожидкостной смеси через выходную камеру 8 и патрубки 9 и 14 поступает по касательной на внутреннюю стенку корпуса сепаратора 15. Газовая фаза проходит дисковые каплеотбойники (по конструкции аналогичны сепаратору 1-й ступени), освобождаясь от механически уносимых капелек мисцеллы, и отводится через верхний патрубок на конденсацию. Упаренная мисцелла через циркуляционную трубу стекает частично в нижнюю камеру 2. Другая часть мисцеллы отводится через один из кранов 18 или 19 на следующую ступень дистилляции.

Движение жидкости по замкнутому контуру сепаратор — циркуляционная труба — греющая камера осуществляется за счет разности плотностей между упаренной мисцеллой в циркуляционной трубе и парожидкостной смеси в пучке трубок греющей камеры. Аппарат работает под вакуумом (0,04–0,05 МПа). Мисцеллу доводят до концентрации 93–95%. Давление греющего пара поддерживают не более 0,2 МПа.

Третья ступень дистилляции (подогреватель концентрированной мисцеллы) (рис. 10.7) представляет собой вертикальный трубчатый аппарат с нисходящим движением пленки, состоящий из цилиндрического корпуса 5, внутри которого расположены по окружности пучок теплообменных трубок 6, приваренных в нижней 2 и верх-

ней 8 трубных решетках, крышки 13 у днища 3. В крышке 13 установлен дисковый каплеотбойник 12 с переливной трубкой 9 и распределительная чаша 15 с желобами для подачи мисцеллы в теплообменные трубы 6. Вертикальный трубчатый аппарат снабжен трубой 11 для подвода исходной мисцеллы, патрубком 1 для отвода упаренной мисцеллы, патрубками 14 и 4, соответственно, для подвода греющего пара и отвода конденсата, патрубком 16 для подвода острого водяного пара, патрубком 10 для отвода паров растворителя из аппарата и патрубком 7, предназначенным для отвода мисцеллы с поверхности верхней трубной решетки 8.

Третья ступень дистилляции работает следующим образом. По трубе 11 за счет разности давления в аппаратах третьей и второй ступени дистилляции мисцелла с концентрацией 93–95% перетекает в распределительную чашу 15. Далее жидкость по желобам равномерно поступает в теплообменные трубы 6, по внутренней поверхности которых стекает вниз в виде пленки и обрабатывается в противотоке острым водяным паром, что обеспечивает отгонку растворителя из мисцеллы. Мисцелла (концентрацией 95–98%) стекает в днище 3 и через патрубок 1 откачивается насосом на следующую стадию дистилляции.

Теплообменные трубы 6 обогреваются глухим водяным паром (избыточным давлением не более 0,2 МПа), который подают через патрубок 14, а образовавшийся конденсат отводится через патрубок 4. Острый водяной пар под давлением 0,15–0,2 МПа (избыточное) подается через патрубок 16. Паровой поток, состоящий из паров бензина и

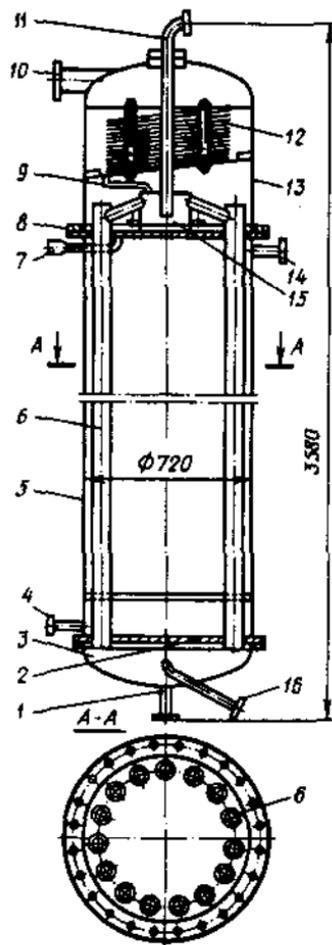


Рис. 10.7. Дистиллятор III ступени

Техническая характеристика дистиллятора третьей ступени

Поверхность нагрева, м ²	9,7
Диаметр теплообменных труб (наружный/внутренний), мм	83/77
Длина труб, мм	2500
Количество труб, шт.	15
Масса, кг	1094

воды, проходит через зазоры между дисковыми каплеотбойниками 12 и за счет резкого изменения направления движения освобождается от капелек унесенной мисцеллы, которая затем перетекает через трубку 9 в распределительную чашу 15. Далее паровая фаза через патрубок 10 отводится на конденсацию.

Третья ступень дистилляции работает под вакуумом (0,05—0,07 МПа). Для эффективной работы аппарата надо создать равномерное распределение мисцеллы из распределительной чаши 15 по трубам 6 и сплошную стекающую пленку мисцеллы по внутренней поверхности труб 6. Это достигается путем установки чаши 15 строго в горизонтальной плоскости, а желобов — по касательной в верхних концах труб 6.

Четвертая ступень дистилляции (окончательный дистиллятор) (рис. 10.8) представляет собой вертикальный пластинчатый теплообменник с нисходящей пленкой, состоящий из цилиндрического корпуса 7, верхней камеры 14 и нижней дезодорационной камеры 2. В верхней камере 14 расположены каплеотбойные диски 15. Внутри цилиндрического корпуса 7 установлены пластины 8, имеющие перфорированные участки 9. Верхние концы пластины 8 крепятся на тягах 11 к неподвижному фланцу 17 и поворотному диску 16, между которыми имеется шариковая опора. Нижняя часть пластин 8 установлена на тягах 4 на неподвижном фланце 3. Вращением поворотного диска 16 придают пластинам 8 спиралеобраз-

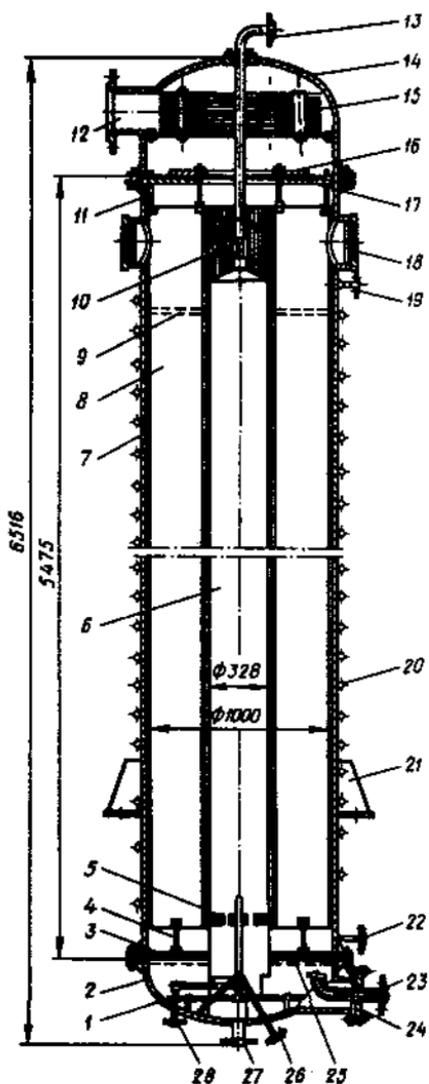


Рис. 10.8. Дистиллятор IV ступени

ную форму под углом около 14° в горизонтальной плоскости, что обеспечивает равномерное распределение распыляемой мисцеллы на пластинах 8. В центре аппарата расположена труба 6 с окнами 5, вырезанными в нижней части трубы. Над трубой 6 установлена тарельчатая форсунка 10, укрепленная на конце трубы 13, предназначенной для подвода мисцеллы. Корпус 7 снабжен паровым змеевиком 20 и опорами-лапами 21, с помощью которых аппарат крепится в вертикальном положении на несущих перекрытиях.

В дезодорационной камере 2 установлены: барботер 1 для ввода острого пара в слой масла, который представляет собой крестообразные перфорированные трубы и перфорированный лист 25, обеспечивающий равномерное распределение потоков острого водяного пара в сечении аппарата. Кроме этого, аппарат снабжен смотровыми окнами 18, патрубками 19 и 22, соответственно, для подвода глухого водяного пара и отвода конденсата, патрубком 12 — для отвода газового потока, патрубками 26 и 28 — для подвода острого пара в трубу 6 и барботер 1, патрубками 23 и 27, соответственно, — для непрерывного отвода готового масла и окончательного слива жидкости из аппарата, люком 24 — для очистки дезодорационной камеры.

Окончательный дистиллятор работает следующим образом. Исходная мисцелла с концентрацией 95–98% подается по трубе 13 в форсунку 10, с помощью которой происходит распыление жидкой фазы в горизонтальной плоскости. Из распыленной мисцеллы испаряется бензин, и далее капельки мисцеллы попадают на пластины 8, обогреваемую стенку корпуса 7 и наружную поверхность трубы 6, стекают пленкой вниз в противотоке с острым паром. Из стекающей пленки происходит дальнейшая отгонка бензина. Затем жидкость попадает в дезодорационную камеру, где в слое высотой 250 мм подвергается барботированию острым паром, подаваемым под давлением 0,015–0,02 МПа (избыточное). Давление острого водяного пара, подаваемого через патрубок 26 и трубу 6, поддерживают не более 0,02 МПа (избыточное).

Готовое масло с температурой 100–105°C через патрубок 23 отводится из аппарата. Паровой поток, протекающий через дисковые каплеотбойники 15, освобождается от капелек мисцеллы и далее по патрубку 12 отводится на конденсацию.

Четвертая ступень дистилляции работает под вакуумом (0,08–0,09 МПа), который поддерживает с помощью парового эжектора.

Техническая характеристика дистиллятора четвертой ступени

Производительность по маслу, т/ч	до 1,3
Диаметр аппарата, мм	1020
Число пластин	40
Поверхность пластин, м ²	196,8
Общая поверхность испарения, м ²	209
Масса аппарата, кг	3663

Материальный и тепловой расчет дистилляционных установок

Дистилляция мисцеллы в маслоэкстракционном производстве представляет собой процесс отгонки растворителя из мисцеллы (раствора масла в экстракционном бензине), направленный на получение масла с показателями соответствующими стандартным.

В промышленности применяется два типа дистилляционных установок — к линии НД и линии МЭЗ (или Де-Смет), которые описаны выше.

Схема трехступенчатой дистилляционной установки к линии НД представлена на рис. 10.9.

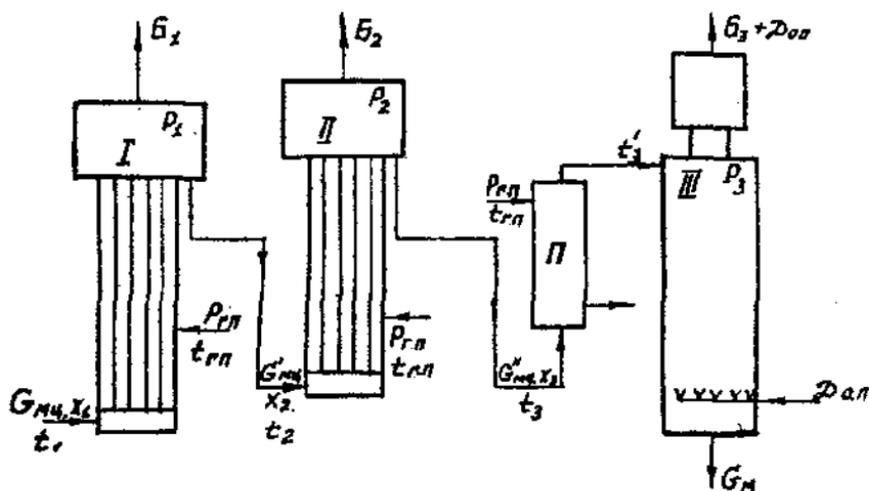


Рис. 10.9. Схема трехступенчатой дистилляционной установки к линии НД:

I, II, III — 1-й и 2-й корпус предварительной дистилляции, подогреватель мисцеллы и 3-й корпус окончательной дистилляции; $G_{мц}$, $G'_{мц}$, $G''_{мц}$ — потоки мисцеллы на входе в установку (в 1-й корпус), во 2-й корпус и в подогреватель перед 3-м корпусом, кг/ч; x_1 , x_2 , x_3 — концентрации мисцеллы на входе в установку (в 1-й корпус), во 2-й корпус и в подогреватель перед 3-м корпусом, %; t_1 , t_2 , t_3 , t'_3 — температуры мисцеллы на входе в установку (в 1-й корпус), во 2-й корпус, в подогреватель и в 3-й корпус, °С; P_1 , P_2 , P_3 — давление в 1-м, 2-м и 3-м корпусах, МПа; $G_{м}$ — поток масла на выходе из установки (из 3-го корпуса); B_1 , B_2 , B_3 — количество паров бензина, отходящих из 1-го, 2-го и 3-го корпусов, кг/ч; $P_{гр}$ — давление греющего пара, МПа; $t_{гр}$ — температура греющего пара, °С; $D_{ост}$ — расход «острого» пара, кг/ч

Схема дистилляционной установки к линии МЭЗ (Де-Смет) представлена на рис. 10.10. Установка также является трехступенчатой, с подогревателем перед 3-й ступенью окончательной дистилляции.

Особенностями установки к линии МЭЗ (Де-Смет) являются:

- принудительная циркуляция мисцеллы на 1-й ступени;
- естественная циркуляция мисцеллы на 2-й ступени;

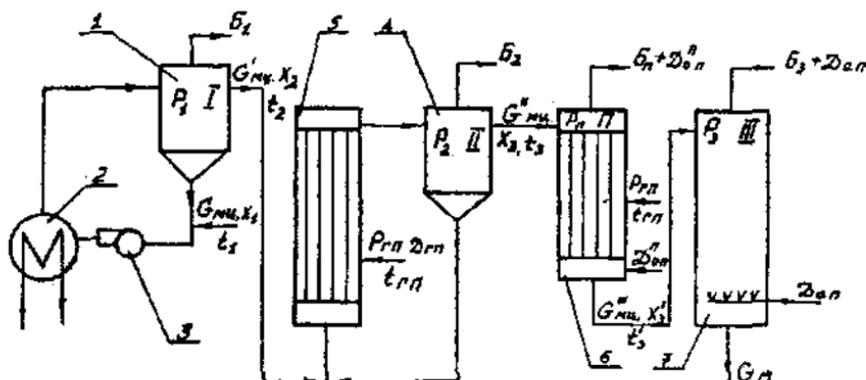


Рис. 10.10. Схема дистилляционной установки к линии МЭЗ (Де-Смет):

$D_{1n}^{(1)}$, $D_{1n}^{(2)}$, $D_{2n}^{(3)}$, $D_{2n}^{(4)}$ — расходы греющего «глухого» пара в 1-м, 2-м корпусах, подогревателе и 3-м корпусе, кг/ч. Остальные обозначения совпадают с обозначениями на рис. 10.9

— в подогревателе возможна отгонка части паров растворителя B_n , в связи с этим количество $G'''_{мц}$ и концентрация x'_3 мисцеллы после подогревателя изменяются.

Задачи расчета дистилляционной установки следующие: материальный расчет (расход по отдельным материальным потокам на каждой ступени установки); тепловой расчет (расход пара на каждой ступени установки).

Уравнения материального баланса процесса дистилляции (отгонка растворителя из мисцеллы)

$$G_{мц\ нвч} = G_{мц\ кон} + B; \quad (10.1)$$

$$G_{мц\ нвч} K_{нвч} = G_{мц\ кон} K_{кон}, \quad (10.2)$$

где $G_{мц\ нвч}$, $G_{мц\ кон}$ — массовые расходы поступающей на ступень мисцеллы и отходящей со ступени упаренной мисцеллы, кг/ч; $K_{нвч}$, $K_{кон}$ — концентрации мисцеллы на входе и на выходе со ступени, %; B — массовый расход паров отогнанного растворителя из мисцеллы, кг/ч;

$$B = G_{мц\ нвч} (1 - K_{нвч}/K_{кон}) \quad (10.3)$$

$$G_{мц\ кон} = G_{мц\ нвч} - B = G_{мц\ нвч} K_{нвч}/K_{кон}. \quad (10.4)$$

Уравнение теплового баланса предварительной дистилляции мисцеллы

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6. \quad (10.5)$$

Приход. 1) Тепло, вносимое мисцеллой

$$Q_1 = G_{мц\ нвч} c_{мц\ нвч} t_{нвч}. \quad (10.6)$$

2) Тепло, вносимое глухим паром

$$Q_2 = D_{гп} i_{п}. \quad (10.7)$$

Расход. 1) Тепло, уносимое мисцеллой

$$Q_3 = G_{мц\ кон} c_{мц\ кон} t_{кон}. \quad (10.8)$$

2) Тепло, уносимое парами испарившегося бензина

$$Q_4 = B(c_6^* t_{ср} + r). \quad (10.9)$$

3) Тепло, уносимое конденсатом глухого пара

$$Q_5 = D_{гп} i_{к}. \quad (10.10)$$

4) Теплотери (2% от тепла, вносимого глухим паром)

$$Q_6 = 0,02Q_2 = 0,02D_{гп} i_{п}. \quad (10.11)$$

Здесь $c_{мц\ нач}$, $c_{мц\ кон}$ — удельные теплоемкости мисцеллы на входе и на выходе со ступени, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$; $t_{нач}$, $t_{кон}$ — температуры мисцеллы на входе и на выходе со ступени, $^{\circ}\text{C}$; c_6^* — удельная теплоемкость жидкого бензина, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$; $t_{ср} = (t_{нач} + t_{кон})/2$ — средняя температура мисцеллы на ступени, $^{\circ}\text{C}$; r — удельная теплота парообразования бензина при $t_{ср}$, $\text{кДж}/\text{кг}$; $i_{п}$, $i_{к}$ — соответственно, удельная энтальпия греющего пара и его конденсата, $\text{кДж}/\text{кг}$; $D_{гп}$ — расход глухого пара (обычно неизвестен и находится решением уравнения 10.5), $\text{кг}/\text{ч}$.

Ориентировочно расход глухого греющего пара ($\text{кг}/\text{ч}$) можно определить по формуле, которая справедлива для расчета предварительного дистиллятора и действительна при условии, что давление греющего пара 0,2...0,3 МПа, а его температура 180...200 $^{\circ}\text{C}$

$$D_{гп} = (0,0005...0,00053) \cdot (G_{мц\ кон} c_{мц\ кон} t_{кон} + B i_{п}^n - G_{мц\ нач} c_{мц\ нач} t_{нач}),$$

где $i_{п}^n = (c_6^* t_{ср} + r)$ — энтальпия паров бензина, $\text{кДж}/\text{кг}$.

Теплоемкость мисцеллы, паров воды и растворителя. Теплоемкость мисцеллы определяется по формуле

$$c_{мц} = c_m K/100 + c_6^* (1 - K/100), \quad (10.12)$$

где

$$c_m = 1,69 + 0,00419 t \quad (10.13)$$

c_m — удельная теплоемкость масла, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$;

$$c_6^* = 1,97 + 0,00397 t \quad (10.14)$$

c_6^* — удельная теплоемкость жидкого бензина, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$.

Удельная теплоемкость паров воды

$$c_{п}^n = 1,94 + 0,00033 t. \quad (10.15)$$

Удельная теплоемкость паров бензина

$$c_p^n = 1,49 + 0,0038 t. \quad (10.16)$$

Теплота парообразования растворителя

$$r = 362 - 0,45 t. \quad (10.17)$$

Температура кипения мисцеллы

$$T_k = \exp(4,9421 + 0,197x + 0,0765 \ln P). \quad (10.18)$$

Здесь T_k — температура кипения мисцеллы, К; P — давление, Па; x — мольная доля масла в мисцелле.

$$x = \frac{1}{1 + \frac{M_m (100 - K_{ми})}{M_b K_{ми}}}. \quad (10.19)$$

Здесь: $K_{ми}$ — массовая концентрация мисцеллы, %; M_m , M_b — соответственно, средняя молекулярная масса подсолнечного масла, равная 887, и бензина, равная 86.

Расход тепла (пара) на подогрев, кДж/ч

$$Q_{под} = G_{ми} c_{ми} (t_{вых} - t_{вх}), \quad (10.20)$$

где $G_{ми}$ — расход мисцеллы на входе в подогреватель, кг/ч; $c_{ми}$ — удельная теплоемкость мисцеллы при концентрации мисцеллы на входе в подогреватель и при средней температуре мисцеллы на входе и на выходе, кДж/кг град.

Расход глухого пара на подогрев, кг/ч

$$D_{под} = Q_{под} / (i_u - i_v). \quad (10.21)$$

Расчет аппаратов, в которые подается «острый» пар. Применяемые в линиях НД и МЭЗ окончательные дистилляторы, а также перегреватель в линии МЭЗ представляют собой непрерывно-действующие противоточные аппараты, в которых процесс протекает, как правило, под вакуумом с подачей острого пара.

Общее уравнение материального баланса при неполной отгонке растворителя от масла «острым» паром, который на входе в аппарат не содержит паров растворителя, имеет вид:

$$G_m (\bar{X}_{вх} - \bar{X}_{вых}) = D_{оп} \bar{Y}_{вых}, \quad (10.22)$$

где G_m — производительность аппарата по маслу, кг/ч; $D_{оп}$ — расход острого пара, кг/ч; $\bar{Y}_{вых}$ — относительная массовая концентрация бензина в паровой фазе на выходе из аппарата, кг/кг; $\bar{X}_{вх}$, $\bar{X}_{вых}$ — соответственно, относительная массовая концентрация (доля бензина к маслу в по-

ступающей и отходящей мисцелле, кг/кг (для окончательной дистилляции $X_{\text{вых}} = 0$).

$$\bar{X} = (100 - K_{\text{мц}}) / K_{\text{мц}}, \quad (10.23)$$

где $K_{\text{мц}}$ — концентрация мисцеллы по маслу, %.

Минимально необходимое количество «острого» пара $D_{\text{оп}}^{\text{м}}$ можно определить из следующего условия: отходящая из аппарата паробензиновая фаза находится в равновесии с поступающей в аппарат мисцеллой

$$D_{\text{оп}}^{\text{м}} = G_{\text{м}} (\bar{X}_{\text{вх}} - \bar{X}_{\text{вых}}) / \bar{Y}^*, \quad (10.24)$$

где \bar{Y}^* — концентрация бензина в первой фазе на выходе из аппарата, равновесная с поступающей в аппарат мисцеллой, выраженная через относительную массовую концентрацию к водяному пару, кг/кг.

Парожидкостное равновесие описывается уравнением:

$$y^* = \gamma \frac{P_6^{\circ}}{P_{\text{ан}}^{\circ}} x, \quad (10.25)$$

где y^* — равновесная концентрация бензина в паровой фазе, выраженная в мольных долях, кмоль/кмоль;

$y^* = \frac{M_{\text{в}} \bar{Y}^*}{M_{\text{в}} \bar{Y}^* + M_{\text{г}}}$, здесь $M_{\text{в}}$ и $M_{\text{г}}$ — соответственно, молекулярные массы воды и бензина, $M_{\text{в}} = 18$ и $M_{\text{г}} = 86$; x — равновесная концентрация бензина в жидкой фазе, выраженная в

мольных долях, кмоль/кмоль; $x = \frac{M_{\text{м}} \bar{X}}{M_{\text{м}} \bar{X} + M_{\text{г}}}$, здесь $M_{\text{м}}$ — молекулярная масса масла (для подсолнечного масла $M_{\text{м}} = 887$); P_6° — давление насыщенных паров чистого бензина, МПа

$$\ln P_6^{\circ} = 6,913 - \frac{2697,55}{T - 48,78}, \quad (10.26)$$

(T — температура мисцеллы на входе в аппарат, К);

$P_{\text{ан}}^{\circ}$ — общее рабочее давление в аппарате, МПа; γ — коэффициент активности, который определяется по формуле

$$\gamma = \exp \left[- \frac{982(1-x)^2}{T} \right]. \quad (10.27)$$

Уравнение (10.24) с учетом уравнения (10.25) и в случае выражения концентраций в мольных долях принимает вид

$$D_{\text{оп}}^{\text{м}} = G_{\text{м}} \cdot \frac{M_{\text{в}}}{M_{\text{м}}} \cdot \left[\frac{P_{\text{ан}}^{\circ}}{(1-x)P_6^{\circ}} - \frac{x}{1-x} \right] \cdot \left[1 - \frac{x_{\text{вых}}(1-x)}{x(1-x_{\text{вых}})} \right]. \quad (10.28)$$

Учитывая характер зависимости (10.28), можно указать, что при снижении концентрации бензина в мисцелле происходит монотонный рост $D_{оп}^м$. Для случая полной отгонки растворителя, имеющей место в окончателном дистилляторе ($x \rightarrow 0$), минимально необходимый расход «острого» пара определяется по формуле

$$D_{оп}^м = G \frac{M_B}{M_M} \frac{P_{ап}}{\gamma P_B^0}, \quad (10.29)$$

а для случая процесса в перегревателе

$$D_{оп}^м = G_M \cdot \frac{M_B}{M_M} \cdot \left[\frac{P_{ап}}{(1-x_{вых})\gamma P_B^0} - \frac{x_{вых}}{1-x_{2вых}} \right] \cdot \left[1 - \frac{x_{вых}(1-x_{вых})}{x_{вых}(1-x_{вых})} \right], \quad (10.30)$$

Работать с минимально необходимым количеством «острого» пара может лишь высокоэффективный массообменный аппарат с общим конечным числом единиц переноса, и для противоточного аппарата можно предложить следующие зависимости для определения рабочего расхода «острого» пара:

$$D_{оп} = \frac{D_{ог}^м}{\varphi}, \quad (10.31)$$

$$\varphi = \frac{\exp(n_{0y} B) - 1}{\exp(n_{0y} B) - 1 + B}, \quad (10.32)$$

где n_{0y} — число единиц переноса.

$$B = 1 - \frac{m D_{оп}^м}{G_M}, \quad (10.33)$$

где m — тангенс угла наклона линии равновесия

$$\bar{Y}^* = m \bar{X}. \quad (10.34)$$

Для определения m преобразуем в равновесном уравнении (10.25) концентрации в мольных долях в относительные массовые концентрации

$$\bar{Y}^* = \frac{M_B M_M \bar{X}}{M_B \left[M_B \frac{P_{ап}}{\gamma P_B^0} - M_M \bar{X} \left(\frac{P_{ап}}{\gamma P_B^0} - 1 \right) \right]}. \quad (10.35)$$

Отсюда получим

$$m = \frac{d\bar{Y}^*}{d\bar{X}} = \frac{M_6 \frac{P_{ан}}{\gamma P_6^0} \left(M_6 M_M + M_6^2 \frac{1964}{T} \right)}{M_B \left(M_6 \frac{P_{ан}}{\gamma P_6^0} - M_M \bar{X} \left(\frac{P_{ан}}{\gamma P_6^0} - 1 \right) \right)^2}, \quad (10.36)$$

$$\frac{m}{\bar{X}^2} = \frac{M_M + M_6 \frac{1964}{T}}{\frac{P_{ан}}{\gamma P_6^0} M_M}. \quad (10.37)$$

Определим парциальное давление паров бензина в газовой фазе на основе применения закона Дальтона

$$\frac{P_6}{P_n} = \frac{y_6}{y_n} \quad \text{и} \quad P_{ан} = p_6 + p_n, \quad (10.38)$$

где $P_{ан}$ — общее давление в аппарате; p_6 , p_n — парциальные давления паров бензина и воды; y_6 , y_n — мольная доля в газовой фазе, соответственно, паров бензина и воды

$$y_6 = \frac{M_B B}{M_B B + M_6 D_{от}}, \quad y_n = \frac{M_6 D_{от}}{M_B B + M_6 D_{от}}. \quad (10.39)$$

(B — количество отгоняемого бензина);

$$p_6 = P_{ан} \frac{1}{1 + \frac{M_6 D_{от}}{M_B B}}. \quad (10.40)$$

При давлении $p_6 = P_{ан} - p_n$ происходит кипение мисцеллы.

В процессе окончательной дистилляции последовательно проходят самоиспарение и процесс десорбции. Концентрация мисцеллы в конце зоны самоиспарения может быть найдена методом постепенного приближения. Задаваясь концентрацией мисцеллы в конце зоны самоиспарения $K_{сн}$, можно по формуле (10.3) определить количество испаренного растворителя в этой зоне

$$B_{сн} = G_{мш} \left(1 - \frac{K_{вх}}{K_{сн}} \right).$$

Затем проверяют принятую концентрацию по количеству испаренного растворителя за счет тепла, выделившегося в зоне самоиспарения

$$B'_{\text{ск}} = \frac{\Delta Q}{\Gamma}, \quad (10.41)$$

где Γ — теплота парообразования бензина (определяется по формуле 10.17 при температуре $t_{\text{ср}} = (t_{\text{вх}} + t_{\text{вп}})/2$), кДж/ч; $\Delta Q = Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4$; $Q_1 = G_{\text{мц}} c_{\text{мц}} t_{\text{вх}}$ — тепло, вносимое мисцеллой в зону самоиспарения, кДж/ч; $G_{\text{мц}}$ — производительность окончательного дистиллятора по мисцелле, кг/ч; $c_{\text{мц}}$ — удельная теплоемкость входящей мисцеллы (определяется по формулам 10.12–10.14 при соответствующих концентрации $K_{\text{вх}}$ и температуре $t_{\text{вх}}$), кДж/(кг · град); $Q_2 = D_{\text{оп}} c_{\text{в}}^{\text{п}} t_{\text{ск}} + B_{\text{ост}} c_{\text{в}}^{\text{п}} t_{\text{ск}}$ — тепло, вносимое паробензиновой смесью из зоны десорбции, кДж/ч; $D_{\text{оп}}$ — расход «острого» пара, кг/ч; $B_{\text{ост}}$ — количество отгоняемого растворителя в зоне десорбции, кг/ч; $B_{\text{ост}} = G_{\text{мц}} K_{\text{вх}} \left(\frac{K_{\text{вх}} - K_{\text{ск}}}{K_{\text{вх}} K_{\text{ск}}} \right)$; $c_{\text{в}}^{\text{п}}$ — удельная теплоемкость паров воды (определяется по формуле 10.15 при температуре $t_{\text{ск}}$), кДж/(кг · град); $c_{\text{в}}^{\text{н}}$ — удельная теплоемкость паров бензина (определяется по формуле 10.16 при температуре $t_{\text{ск}}$), кДж/(кг · град); $t_{\text{ск}}$ — температура мисцеллы в конце зоны самоиспарения (определяется по формуле 10.18 при давлении p_0 по формуле 10.40 и концентрации $K_{\text{ск}}$); $Q_3 = (G_{\text{мц}} - B_{\text{ск}}) c_{\text{мц}}' t_{\text{ск}}$ — тепло, уносимое мисцеллой из зоны самоиспарения, кДж/ч; $c_{\text{мц}}'$ — удельная теплоемкость входящей мисцеллы (определяется по формулам 10.12–10.14 при соответствующих концентрации $K_{\text{ск}}$ и температуре $t_{\text{ск}}$), кДж/(кг · град); $Q_4 = D_{\text{оп}} c_{\text{в}}^{\text{н}} t_{\text{вх}} + B c_{\text{в}}^{\text{н}} t_{\text{вх}}$ — тепло, уносимое паробензиновой смесью из зоны самоиспарения, кДж/ч; $c_{\text{в}}^{\text{н}}$, $c_{\text{б}}^{\text{н}}$ — удельная теплоемкость паров воды и бензина (определяется по формулам 10.15 и 10.16 при температуре $t_{\text{вх}}$), кДж/(кг · град); B — общее количество паров бензина: $B = G_{\text{мц}} \{1 - K_{\text{вх}}/K_{\text{вмх}}\}$, кг/ч.

Расхождение между $B_{\text{ск}}$ и $B_{\text{ск}}'$ допускается в пределах 5–10%.

Определение расхода «глухого» пара в окончательном дистилляторе и перегревателе мисцеллы.

Расход «глухого» пара $D_{\text{гл}}$ может быть определен из теплового баланса и зоны десорбции

$$D_{\text{гл}} = \frac{G_{\text{мц}} c_{\text{мц}} (t_{\text{в}} - t_{\text{ск}}) + B_{\text{ост}} \Gamma - D_{\text{оп}} (i_1 - i_2)}{i_1 - i_{\text{к}}}, \quad (10.42)$$

где $G_{\text{мц}}$ — производительность аппарата по конечному продукту (для перегревателя это мисцелла, а для окончательного дистиллятора — масло), кг/ч; $c_{\text{мц}}$ — удельная теплоемкость продукта (определяется по формулам 10.12–10.14 при $t_{\text{ср}} = (t_{\text{ск}} + t_{\text{к}})/2$), кДж/(кг · град); $t_{\text{ск}}$, $t_{\text{к}}$ — температура продукта в конце зоны самоиспарения и на выходе из дистиллятора, °С; $B_{\text{ост}}$ — количество отгоняемого растворителя в зоне десорбции, кг/ч; Γ — удельная теплота парообразования бензина (определяется по формуле 10.17

при температуре $t_{cp} = (t_{сн} + t_k)/2$, кДж/кг; i_1, i_k — теплосодержание «глухого» пара на входе и конденсата на выходе (определяется из таблиц водяного пара в зависимости от параметров пара), кДж/кг; i_1, i_2 — соответственно, теплосодержание водяного пара на входе (определяется из таблиц водяного пара в зависимости от параметров пара) и на выходе из зоны десорбции. В случае перегретого пара $i_1 - i_2 = c_n^n (t_1 - t_2)$.

Ориентировочно в окончательном дистилляторе расход пара (глухого и острого в сумме, кг/ч) составит

$$D = (0,00052 - 0,00055) (G'_2 c'_2 t'_2 + B' i'_b - G'_1 c'_1 t'_1) + 0,483B'' \tau / (t_{пер} - t_{yx}),$$

здесь G'_2 — масса выходящей мисцеллы, кг/ч; c'_2 — удельная теплоемкость выходящей мисцеллы, кДж/(кг · К); t'_2 — температура выходящей мисцеллы, °С; B' — масса бензина, испарившегося за счет теплоты глухого пара, кг/ч; i'_b — энтальпия паров бензина, кДж/кг; G'_1 — масса поступающей мисцеллы, кг/ч; c'_1 — удельная теплоемкость поступающей мисцеллы, кДж/(кг · К); t'_1 — температура поступающей мисцеллы, °С; B'' — масса бензина, испарившегося за счет теплоты острого пара, кг/ч; τ — теплота испарения бензина, кДж/кг; $t_{пер}$ — температура острого перегретого пара, °С; t_{yx} — температура отходящих паров, °С.

Энтальпия паров бензина (кДж/кг) $i'_b = c_b t_{cp} + \tau$, где c_b — удельная теплоемкость жидкого бензина при температуре t_{cp} , кДж/(кг · К); t_{cp} — средняя температура кипения бензина, °С; $t_{cp} = (t_n + t_k)/2$ (здесь t_n — температура кипения мисцеллы при начальной ее концентрации и при установленном давлении в дистилляторе, °С; t_k — то же, но при конечной концентрации мисцеллы); τ — удельная теплота парообразования бензина при температуре t_{cp} , кДж/кг.

Расчет аппарата предварительной дистилляции с принудительной циркуляцией (первый корпус дистилляционной установки к линии МЭЗ).

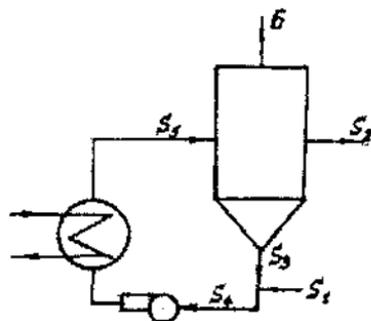


Рис. 10.11. Аппарат с принудительной циркуляцией

На рис. 10.11 представлена схема рассчитываемого аппарата.

Исходные данные для расчета:

S_1 — расход исходной мисцеллы, кг/ч;

K_1, K_2 — соответственно, концентрация мисцеллы на входе и на выходе аппарата, %;

t_1 — температура исходной мисцеллы, °С;

P — давление в сепараторе, МПа;

n — кратность циркуляции, обеспечиваемая насосом.

Расчет потока испарившегося бензина на ступени проводится по формуле 10.3, а потока отходящей мисцеллы — по формуле 10.4.

Материальные потоки в циркуляционном контуре (обозначения см. на рис. 10.11):

$$S_3 = n S_1; \quad (10.43)$$

$$S_4 = (n + 1) S_1; \quad (10.44)$$

$$S_5 = S_4. \quad (10.45)$$

Определение температуры мисцеллы t_4 после насоса (после смешения потоков S_1 и S_3) проводится решением уравнения теплового баланса

$$t_4 = \frac{S_3 c_2 t_2 + S_1 c_1 t_1}{S_4 c_4}. \quad (10.46)$$

Удельная теплоемкость мисцеллы c_1 , c_2 и c_4 находится по формулам 10.12–10.14 при соответствующих температурах потоков. Температура t_2 находится по формуле 10.18. Так как c_4 зависит от искомой температуры t_4 , то, учитывая формулы 10.12–10.14, уравнение 10.46 может быть преобразовано к виду

$$t_4 = \frac{-\left[a \frac{K_4}{100} + c \left(1 - \frac{K_4}{100} \right) \right] + \sqrt{\left[a \frac{K_4}{100} + c \left(1 - \frac{K_4}{100} \right) \right]^2 + 4A_4 \left[b \frac{K_4}{100} + d \left(1 - \frac{K_4}{100} \right) \right]}}{2 \left[b \frac{K_4}{100} + d \left(1 - \frac{K_4}{100} \right) \right]}, \quad (10.47)$$

$$\text{где } K_4 = \frac{S_1 K_1 + S_3 K_3}{S_4}; \quad A_4 = \frac{S_3 c_2 t_2 + S_1 c_1 t_1}{S_4}; \quad a = 1,69; \quad b = 0,00419;$$

$$c = 1,97; \quad d = 0,00397.$$

Определение температуры мисцеллы после теплообменника-экономайзера проводится решением уравнения теплового баланса сепаратора

$$t_5 = \frac{\Gamma r + (S_2 + S_3) c_2 t_2}{c_5 t_5}. \quad (10.48)$$

Здесь Γ рассчитывается по формуле (10.17) при температуре t_2 . Так как c_5 зависит от искомой температуры t_5 , то, учитывая формулы 10.12–10.14 уравнение 10.48 может быть преобразовано к виду

$$t_5 = \frac{-\left[a \frac{K_5}{100} + c \left(1 - \frac{K_5}{100} \right) \right] + \sqrt{\left[a \frac{K_5}{100} + c \left(1 - \frac{K_5}{100} \right) \right]^2 + 4A_5 \left[b \frac{K_5}{100} + d \left(1 - \frac{K_5}{100} \right) \right]}}{2 \left[b \frac{K_5}{100} + d \left(1 - \frac{K_5}{100} \right) \right]}. \quad (10.49)$$

где $K_5 = K_4$; $A_5 = \frac{B\gamma + (S_2 + S_3)\epsilon_2 t_2}{S_5}$; $a = 1,69$; $b = 0,00419$; $c = 1,97$; $d = 0,00397$.

Проверку возможности достижения температуры t_3 делают сравнением ее с температурой кипения мисцеллы $t_{\text{кип}}$ при условиях процесса в теплообменнике-экономайзере. Расчет $t_{\text{кип}}$ ведут по формуле 10.18. Концентрацию мисцеллы принимают равной K_4 , а давление

$$P_7 = P + \Delta P,$$

где $\Delta P = \rho_{\text{ми}} g H \cdot 10^{-6}$ (МПа) — дополнительный перепад давления за счет гидростатического столба жидкости (мисцеллы концентрации K_5 , %) между теплообменником-экономайзером и сепаратором (высота H , м). Плотность мисцеллы определяют по формуле

$$\rho_{\text{ми}} = \rho_{\text{м}} K_5 / 100 + \rho_6 (1 - K_5 / 100), \quad (10.50)$$

где $\rho_{\text{м}} = 938 - 0,68t_5$ — плотность масла, кг/м^3 ; $\rho_6 = 728 - 0,88t_5$ — плотность бензина, кг/м^3 .

Если $t_3 < t_{\text{кип}}$, то процесс осуществим, а если $t_3 > t_{\text{кип}}$, то нет, и необходимо увеличить высоту H в проектируемой установке.

В заключение определяется количество требуемого тепла для обеспечения процесса дистилляции в аппарате

$$Q = S_4 c_{4,5} (t_5 - t_4), \quad (10.51)$$

где $c_{4,5}$ — удельная теплоемкость мисцеллы концентрации K_4 при средней температуре $t_{\text{ср}} = (t_5 + t_4)/2$, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$.

В дистилляционных установках к линии МЭЗ тепло Q подводится с парами бензина из тостера.

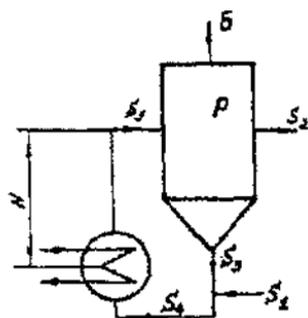


Рис. 10.12. Аппарат с естественной циркуляцией

Расчет аппарата предварительной дистилляции с естественной циркуляцией (второй корпус дистилляционной установки к линии МЭЗ). На рис. 10.12 представлена схема рассчитываемого аппарата.

Исходные данные для расчета: S_1 — расход исходной мисцеллы, кг/ч ; K_1 , K_2 — концентрация мисцеллы, соответственно, на входе и на выходе из аппарата, %; t_1 — температура исходной мисцеллы, $^{\circ}\text{C}$; P — давление в сепараторе, МПа.

Расчет потока испарившегося бензина на ступени проводится по формуле 10.3, а потока отходящей мисцеллы — по формуле 10.4.

Материальные потоки в циркуляционном контуре связаны системой уравнений теплового и материального баланса:

$$S_3 c_3 t_3 = B\tau + S_2 c_2 t_2 + S_3 c_2 t_2; \quad (10.52)$$

$$S_3 = S_5 - S_1; \quad (10.53)$$

$$S_1 = S_2 + B. \quad (10.54)$$

Из этой системы уравнений можно получить соотношение

$$S_3 = \frac{B(\tau - c_2 t_2)}{c_5 t_5 - c_2 t_2} = S_1 \left(1 - \frac{K_1}{K_2} \right) \frac{(\tau - c_2 t_2)}{(c_5 t_5 - c_2 t_2)}. \quad (10.55)$$

Устанавливаемая кратность циркуляции в контуре

$$n = S_3 / S_1 \quad (10.56)$$

может быть также выражена из системы уравнений 10.52–10.54:

$$n = \frac{\tau + \frac{K_1}{K_2} (c_2 t_2 - \tau) - c_5 t_5}{c_5 t_5 - c_2 t_2} \quad (10.57)$$

С другой стороны, концентрация мисцеллы K_5 , нагреваемой в выносном теплообменнике, также зависит от соотношения потоков в циркуляционном контуре

$$K_5 = \frac{S_1 K_1 + S_2 K_2}{S_5}, \quad (10.58)$$

и кратность циркуляции связана с концентрациями мисцеллы K_5 , K_1 , K_2

$$n = \frac{K_1 - K_5}{K_5 - K_2}. \quad (10.59)$$

Если приравнять выражения для кратности циркуляции 10.57 и 10.59 и учесть формулы 10.12–10.14, то получим формулу для определения t_5

$$t_5 = \frac{- \left[a \frac{K_5}{100} + c \left(1 - \frac{K_5}{100} \right) \right] + \sqrt{\left[a \frac{K_5}{100} + c \left(1 - \frac{K_5}{100} \right) \right]^2 + 4 \left[b \frac{K_5}{100} + d \left(1 - \frac{K_5}{100} \right) \right] \left[\frac{K_5}{K_2} (c_2 t_2 - \tau) + \tau \right]}{2 \left[b \frac{K_5}{100} + d \left(1 - \frac{K_5}{100} \right) \right]}, \quad (10.60)$$

где $a = 1,69$; $b = 0,00419$; $c = 1,97$; $d = 0,00397$.

Концентрацией мисцеллы K_3 на выходе из теплообменника задаются (K_3 принимается на 2–5% меньше K_2).

Температуру мисцеллы перед поступлением в выносной теплообменник t_4 можно получить из уравнения теплового баланса

$$S_4 c_4 t_4 = S_3 c_2 t_2 + S_1 c_1 t_1 \quad (10.61)$$

с учетом формул 10.12–10.14, соотношения 10.59, а также $S_4 = S_1 + S_3$, $K_4 = K_3$

$$t_4 = \frac{- \left[a \frac{K_3}{100} + c \left(1 - \frac{K_3}{100} \right) \right] c + \sqrt{\left[a \frac{K_3}{100} + c \left(1 - \frac{K_3}{100} \right) \right]^2 + 4 \left[b \frac{K_3}{100} + d \left(1 - \frac{K_3}{100} \right) \right] \left[c_2 t_2 \frac{K_1 - K_3}{K_1 - K_2} + c_1 t_1 \frac{K_3 - K_2}{K_1 - K_2} \right]}{2 \left[b \frac{K_3}{100} + d \left(1 - \frac{K_3}{100} \right) \right]} \quad (10.62)$$

Принятая концентрация K_3 проверяется из сравнения получающего потока мисцеллы через теплообменник S_3 по уравнению 10.55 и возможностей теплообменника по нагреву мисцеллы

$$S_3 = \frac{kF \Delta t_{cp} 3600}{c_{4-5} (t_5 - t_4) 1000}, \quad (10.63)$$

где k — коэффициент теплопередачи: $k = 35$ Вт/(м² · град); F — поверхность нагрева: $F = \pi d L n$; Δt_{cp} — средняя разность температур: $\Delta t_{cp} = t_3 - (t_4 - t_5)/2$; c_{4-5} — удельная теплоемкость мисцеллы, определяется по формулам 10.12–10.14 при $t_{cp} = (t_4 + t_5)/2$ и концентрации мисцеллы K_3 .

Расхождение в S_3 , рассчитанных по формулам 10.55 и 10.63, допускается не более 5–8%.

В заключение определяют требуемое количество тепла

$$Q = S_5 c_{4-5} (t_5 - t_4) \quad (10.64)$$

и соответствующий расход пара

$$D = Q / (i_n - i_k), \quad (10.65)$$

где i_n , i_k — соответственно, энтальпия греющего пара и конденсата при заданных параметрах, кДж/кг.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение процесса дистилляции масляных мисцелл?
2. Как осуществляется предварительная и окончательная дистилляция масляных мисцелл?
3. Как устроен и работает пленочный предварительный дистиллятор линии НД-1250?
4. Как устроен и работает окончательный дистиллятор линии НД-1250?
5. Как устроен и работает дистиллятор первой степени дистилляции линии МЭЗ-350?
6. Как устроен и работает дистиллятор второй степени дистилляции линии МЭЗ-350?

7. Как устроен и работает дистиллятор третьей ступени дистилляции (подогреватель концентрированной мисцеллы) линии МЭЗ-350?
8. Как устроен и работает окончательный дистиллятор линии МЭЗ-350?
9. Каковы основные правила эксплуатации и техники безопасности при работе на дистилляционных установках?

Задания

1. Выполните материальный и тепловой расчет I-й ступени предварительной дистилляции к линии НД и определите расход греющего пара. Производительность дистиллятора $G_{\text{мц}} = 9655$ кг/ч мисцеллы с начальной концентрацией $K_1 = 15\%$ и температурой $t_1 = 65,8^\circ\text{C}$, с доведением ее концентрации до $K_2 = 60\%$. Обогрев аппарата производится перегретым водяным паром с температурой 200°C и давлением $0,3$ МПа. Аппарат работает при давлении $P = 0,1$ МПа.
2. Выполните материальный и тепловой расчет II-й ступени предварительной дистилляции к линии НД и определите расход греющего пара. Производительность дистиллятора $G_{\text{мц}} = 2414$ кг/ч мисцеллы с начальной концентрацией $K_2 = 60\%$ и температурой $t_2 = 103,8^\circ\text{C}$, с доведением ее концентрации до $K_3 = 94\%$. Обогрев аппарата производится перегретым водяным паром с температурой 200°C и давлением $0,3$ МПа. Аппарат работает под давлением $P = 0,035$ МПа.
3. Рассчитайте подачу «острого» и «глухого» пара на дистилляцию III-й ступени (окончательный дистиллятор). Количество поступающей мисцеллы $G_{\text{мц}} = 1541$ кг/ч с исходной концентрацией $K_3 = 94\%$ и температурой $t_3 = 113,6^\circ\text{C}$. Температура готового масла $t_{\text{мк}} = 115^\circ\text{C}$. Давление в аппарате $P = 0,03$ МПа. Применяется перегретый водяной пар с температурой 200°C и давлением $0,3$ МПа. Принимается, что в аппарате реализуется общее число единиц переноса $n_{\text{пр}} = 1$.
4. Выполните расчет первого корпуса дистилляционной установки к линии МЗЗ. Расход исходной мисцеллы $S_1 = 5230$ кг/ч. Начальная и конечная концентрация мисцеллы — $K_1 = 25\%$ и $K_2 = 40\%$. Температура исходной мисцеллы $t_1 = 40^\circ\text{C}$. Давление в сепараторе $P = 0,05$ МПа. Кратность циркуляции $n = 10$. Расстояние от горизонтальной оси экономайзера до патрубков, через который мисцелла поступает в сепаратор, по высоте составляет $4,5$ м. Экономайзер обогревается насыщенными парами бензина из испарителя шрота с температурой 90°C .
5. Выполните расчет второго корпуса дистилляционной установки к линии МЭЗ. Расход мисцеллы на входе во второй корпус $S_1 = 3269$ кг/ч. Начальная и конечная концентрация мисцеллы — $K_1 = 40\%$ и $K_2 = 93\%$. Температура исходной мисцеллы $t_1 = 64^\circ\text{C}$. Давление в сепараторе $P = 0,025$ МПа. В теплообменнике 151 труба диаметром $d = 0,04$ м и длиной $l = 4,1$ м. Давление греющего насыщенного водяного пара $0,3$ МПа. Коэффициент теплопередачи в теплообменнике $k = 35$ Вт/(м² · град).
6. Выполните расчет расхода пара в перегревателе дистилляционной установки МЭЗ. Расход мисцеллы на входе в перегреватель $G_{\text{мц}} = 1406$ кг/ч. Начальная и конечная концентрация мисцеллы — $K_{\text{мк}} = 93\%$ и $K_{\text{мц}} = 96\%$. Температура исходной мисцеллы $t_{\text{мк}} = 96,8^\circ\text{C}$, температура на выходе из перегревателя $t_{\text{мц}} = 100^\circ\text{C}$. Давление в аппарате $P = 0,025$ МПа. Применяется перегретый водяной пар с температурой $t_{\text{п}} = 200^\circ\text{C}$ и давлением $P_{\text{п}} = 0,3$ МПа.

ГЛАВА 11.

АППАРАТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ШРОТА

Шрот — это обезжиренный материал, получаемый после экстракции; он имеет бензовлагодность примерно 40%. Шрот является ценным кормовым продуктом в животноводстве. Обработка шрота в маслоэкстракционной линии заключается в отгонке растворителя из шрота, а также тостировании — операции влаготепловой обработки шрота, совмещенной с отгонкой растворителя, обеспечивающей повышение кормовых достоинств шрота. Основная задача операции тостирования шрота заключается в удалении растворителя до содержания не более 0,1%, получении шрота с заданной влажностью и инактивации антипитательных веществ. Последняя операция особенно важна при переработке сои, клешевины и хлопка, что достигается в результате обеспечения требуемой продолжительности процесса и высокого температурного уровня (например, при переработке клешевины температуру шрота доводят до 135°C). Безопасность транспортирования шрота и его хранения гарантируется отсутствием бензина в шроте (не более 0,1%) и его влажностью. Для подсолнечного шрота влажность — 8–10%, для соевого — 10–12%, клешевиного — 7,5–8,5% и т.д. Температура шрота, поступающего на хранение, не должна превышать 35–40°C.

Шнековые испарители в линии НД-1250 и МЭЗ

Модернизированный шнековый испаритель линии НД-1250 (рис. 11.1) состоит из двух секций. Верхняя секция включает пять испарительных шнеков, а нижняя — три. Испарительные шнеки 9 расположены друг над другом, и при этом секции смещены друг относительно друга.

Испарительные шнеки состоят из цилиндрического корпуса, выполненного из цельнотянутых труб, заключенных в паровые рубашки 17.

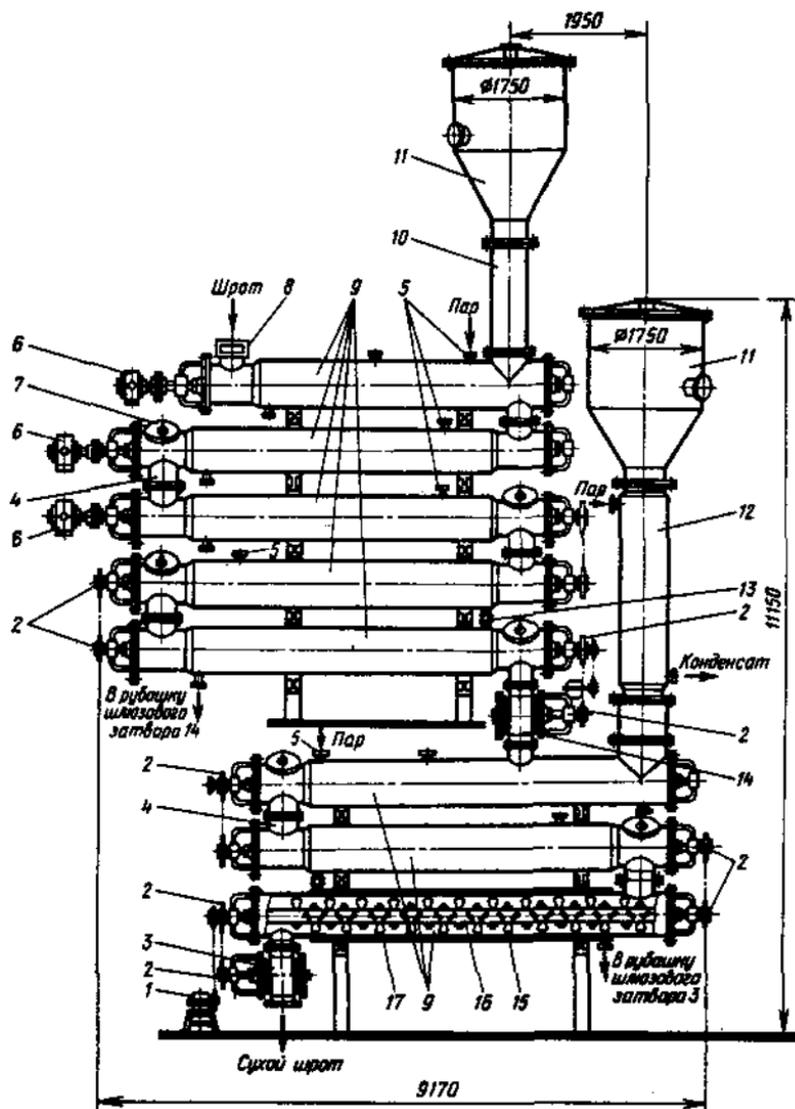


Рис. 11.1. Модернизированный шнековый испаритель

Внутри корпуса расположен полый вал 16, на котором установлены по винтовой линии под углом лопатки 15. Зазор между кромками лопаток и внутренней стеной корпуса составляет 10 мм, что исключает контакт между ними при малом изгибе вала во время работы.

Концы вала 16 установлены в опорных подшипниках, расположенных в кронштейнах крышек. Лопаточный шнек обеспечивает хорошее перемещение и перемешивание слипающегося материала (шрота).

Испарительные шнеки 9 между собой соединены перепускными патрубками 4, а верхняя и нижняя секции — шлюзовым затвором 14. Каждая секция снабжена сухой шротоловушкой 11 для улавливания частичек шрота, уносимых паровой фазой. При этом газоход нижней секции заключен в паровую трубу 12 для исключения конденсации паров. Нижний испарительный шнек 9 имеет шлюзовой затвор 3, необходимый для выгрузки шрота и обеспечивающий герметичность системы.

Осмотр и чистка перепускных патрубков 4 осуществляется через люки-лазы 7. Вращение верхних шнеков секции обеспечивается с помощью электродвигателей 6 через редукторы, а нижние шнеки и шлюзовые затворы приводятся во вращение от верхних через приводные звездочки цепных передач 2. Для смазки вращающихся частей применяется групповой смазывающий аппарат — лубрикатор 1.

Обогрев испарительного шнека глухим водяным паром осуществляется подводом его через патрубки 5 и 13, при этом отработанный пар используют для обогрева шлюзовых затворов 14 и 3. Острый водяной пар подают в самый нижний испарительный шнек 9 через патрубок, установленный в торцовой крышке шнека.

Шнековый испаритель работает следующим образом. Из экстрактора шрот через шлюзовой затвор и патрубок 8 поступает в верхний испарительный шнек, где вращающимися вместе с валами 16 лопатками 15 подхватывается и перемещается вдоль цилиндра к его концу. Перемешиваемый шрот нагревается глухим паром, подводимым в паровые рубашки 17. При достижении перепускного патрубка 4 шрот пересыпается в нижележащий испарительный шнек 9, и, таким образом, происходит движение шрота последовательно по всем испарительным шнекам. По мере перемещения по испарительным шнекам из шрота испаряются растворитель и вода. В нижней секции отгонка остатка растворителя обеспечивается с помощью острого водяного пара. Паровая фаза из верхней и нижней секций поступает в соответствующие сухие шротоловушки 11, где в результате резкого уменьшения скорости потока происходит частичное осаждение частичек шрота, увлекаемых потоком паров, которые затем возвращаются в испарительные шнеки.

Готовый шрот с температурой 95–100°C и содержанием растворителя не более 0,2% отводится из нижнего испарительного шнека через шлюзовой затвор 3 на кондиционирование (по влажности и температуре).

Шнековый испаритель экстракционной линии МЭЗ-350 (рис. 11.2) состоит из трех испарительных шнеков 19, барабанной сушилки-дезодоратора 38, двух шлюзовых затворов (загрузочного 15 и разгрузочно-

Техническая характеристика модернизированного шнекового испарителя линии НД-1250

Производительность по шроту, т/ч	4,0
Общая поверхность нагрева испарительных шнеков, м ²	70,0
Давление греющего пара, МПа	0,5
Количество испарительных шнеков, шт.	8
Длина каждого шнека, мм	6200
Частота вращения, об/мин:	
лопастных валов	38
шлюзовых затворов	16—19
Электродвигатели для верхней секции:	
число	3
мощность, кВт	2,5
Электродвигатели для нижней секции:	
число	2
мощность, кВт	10

го 46), сухого пылеотделителя 24 и мокрой шротоловушки 29. Испарительные шнеки 19 представляют собой цельнотянутые трубы с патрубками 17 и 31 для подвода пара и отвода конденсата, заключенные в паровые рубашки 18. Внутри испарительных шнеков 19 установлены полые валы 22 с лопатками 20 и лопастями 21, предназначенные, соответственно, для перемещения материала и очистки внутренней стенки испарительного шнека от прилипшего шрота. Концы вала 22 установлены в подшипники 13, расположенные в торцовых крышках 14.

Поступление шрота в испаритель осуществляется через загрузочный шлюзовой затвор 32 и патрубок 16. Далее перемещение шрота из одной секции в другую происходит через патрубки 9. Люки 32 предназначены для осмотра и очистки перепускных патрубков 9.

Валы испарительных шнеков и шлюзового затвора приводятся во вращение от индивидуального электропривода 11 через цепные передачи 12. Индивидуальный электропривод 11 смонтирован на кронштейне нижнего испарительного шнека 19.

Верхний испарительный шнек соединен через патрубок 23 с сухим пылеотделителем 24, который предназначен для улавливания частичек шрота, уносимых паровым потоком. Сухой пылеотделитель 24 представляет собой горизонтальный цилиндрический корпус диаметром 900 мм, снабженный обогреваемыми элементами с поверхностью нагрева 1,5 м². Обогрев осуществляется глухим водяным паром давлением 0,4—0,5 МПа. Внутри сухого пылеотделителя установлен ленточный шнековый конвейер-

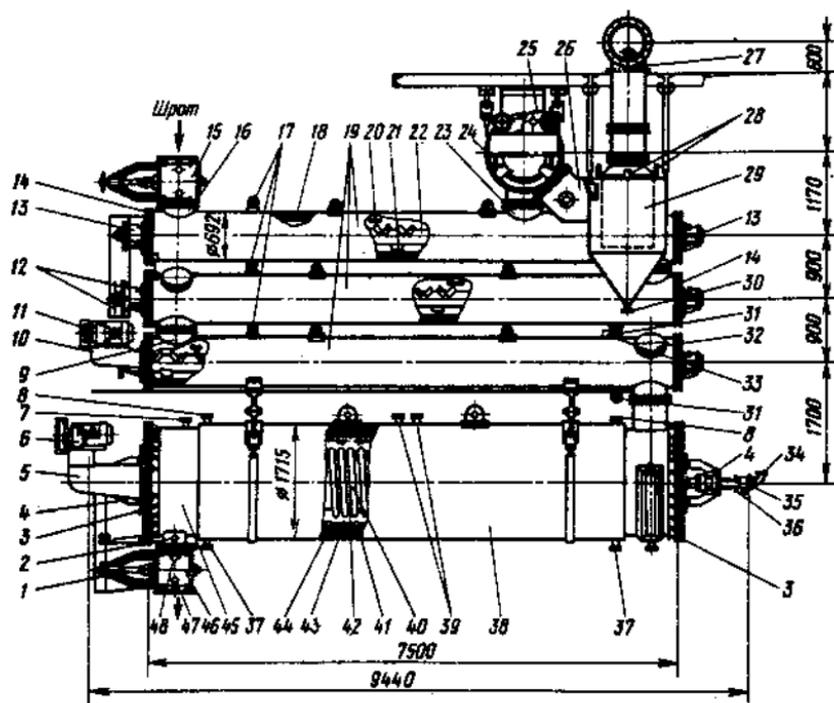


Рис. 11.2. Шнековый испаритель экстракционной линии МЭЗ

ер, имеющий частоту вращения 2 об/мин и предназначенный для съема частичек шрота с внутренней поверхности и подачи его в испарительный шнек. Вращение вала шнека-пылеотделителя осуществляется с помощью индивидуального электропривода 25. Сухой пылеотделитель 24 соединен через перепускной патрубков 26 с циклонной мокрой шротоловушкой 29, представляющей собой вертикальный цилиндрический корпус с коническим днищем, в центре которого расположена труба для отвода очищенного парового потока. По окружности в верхней торцевой части мокрой шротоловушки установлены форсунки 28, через которые распыляется горячая вода с температурой 90–95°C для улавливания мелких частичек шрота из парового потока. Такая температура воды необходима для конденсации паров растворителя. В нижней части мокрой шротоловушки расположены гидравлическое предохранительное устройство и сливной патрубков 30 для непрерывного слива промывной воды в шламовыпариватель.

Барабанная сушилка-дезодоратор 38 представляет собой горизонтальный цилиндрический корпус 45, заключенный в паровую рубашку, которая состоит из двух частей и снабжена патрубками 39 для подвода глухого водяного пара и патрубками 37 для отвода конденсата. Внутри сушилки-дезодоратора 38 размещен вращающийся каркасный ротор 41 с лопастями 43, установленный на полом вала 42. Концы полого вала 42 крепятся на выносных подшипниках 4. Каркасный ротор снабжен дополнительной поверхностью нагрева — змеевиком глухого пара 40. Глухой водяной пар подается через распределительную головку 35 и патрубок 34, конденсат отводится через патрубок 36. Через патрубки 2 и 7 осуществляется ввод острого водяного пара под давлением 0,2–0,3 МПа (избыточное) и температурой 180–200°C.

Ротор 41 сушилки-дезодоратора 38 приводится во вращение (с частотой 10,6 об/мин) через клиноременную и цепную передачи с помощью индивидуального электропривода 6, который расположен на кронштейне 5. Для очистки и осмотра сушилки-дезодоратора в торцовых крышках 3 установлены специальные люки.

Шлюзовые затворы 15 и 46 обогреваются глухим водяным паром, который подводится через патрубок 48, а конденсат отводится через патрубок 47. Ротор шлюзового затвора 46 приводится во вращение от вала сушилки через цепную передачу 1.

Шнековый испаритель работает следующим образом. Шрот из экстрактора поступает в загрузочный шлюзовой затвор 15 и далее в верхний испарительный шнек 19. Вращающийся вал 22 с лопатками 20 и лопастями 21 обеспечивает перемещение и перемешивание материала. По мере продвижения по испарительному шнеку шрот освобождается от растворителя. Далее через патрубок шрот передается в следующий испарительный шнек 19, где процесс движения материала аналогичен. Пройдя последовательно все три испарительных шнека, шрот попадает в сушилку-дезодоратор 38. Здесь шрот дополнительно нагревается и

Техническая характеристика шнекового испарителя линии МЭЗ-350

Производительность (по шроту), т/сут	до 130
Число испарителей в агрегате	2
<i>Испаритель</i>	
Диаметр шнека, мм	600
Длина корпуса секций, мм	7500
Поверхность нагрева, м ²	26
Мощность электродвигателя, кВт	3,6
<i>Сушилка-дезодоратор</i>	
Диаметр (внутренний), мм	1500
Длина корпуса, мм	7500
Поверхность нагрева, м ² :	
паровой рубашки	28
вращающегося змеевика	22
Частота вращения змеевика, об/мин	8
Мощность электродвигателя, кВт	5,0
Давление греющего пара, МПа	0,5

подсушивается. Необходимое количество тепла шроту передается через паровую рубашку и паровой змеевик. Кроме этого, ввод острого водяного пара позволяет отогнать из шрота остаточное количество растворителя.

Готовый шрот с содержанием растворителя не более 0,2% и температурой 95–100°C через шлюзовой затвор 46 отводится на кондиционирование.

Поток паровой смеси, состоящий из паров растворителя и воды, а также с мелкими частицами шрота, через патрубок 23 поступает в сухой пылеотделитель 24. В результате снижения скорости движения газового потока часть частиц осаждается в пылеотделителе 24 и затем ленточным шнеком возвращается в испарительный шнек. Далее газовый поток поступает в мокрую шротоловушку 29, где оставшиеся частицы шрота улавливаются распыленной горячей водой. Очищенная газовая фаза используется для обогрева предварительной ступени дистилляции.

Десятичанный тостер фирмы СКЕТ

Этот тостер (производства ФРГ) представляет собой колонный аппарат (рис. 11.3), состоящий из двух разъемных частей, которые соединены между собой болтами. В верхней части сварены четыре чана, а в нижней — шесть. Чаны 7 установлены последовательно друг над другом, при этом каждый чан снабжен греющим элементом 11, выполненным в виде швеллера и приваренным по окружности чана 7. Днища каждого чана имеют также приваренные швеллеры 10 для обогрева. Греющий водяной пар подается, соответственно, через патрубки 18 и 19, а конденсат отводится через патрубки 8 и 12. Самый верхний чан имеет колпак 14, приваренный к чану. Внутри чанов 7 установлен вертикальный полый вал 9, который состоит из двух разъемных частей, соединенных муфтой в пятом чане. В каждом чане установлено по два ножа 6, жестко соединяемых с помощью болтов с валом 9. При этом в первых трех верхних чанах через перфорированную трубку на ножах 6 предусмотрена подача острого водяного пара, который вводится через патрубок 16 и полый вал 9 и далее по ножам. Возможна подача острого водяного пара непосредственно в каждый чан через патрубки 20. Днища каждого чана имеют отверстия 26 для передачи материала из чана в чан и отверстия 25 для отвода соковых паров из нижнего чана в верхний. В отверстиях 26 установлены регулируемые сегментные клапана 21 с рычажным механизмом 4, который соединен с регулятором уровня 22, поддерживающим заданный слой материала в каждом верхнерасположенном чане. В отверстиях 25 вмонтированы перфорированные пластины.

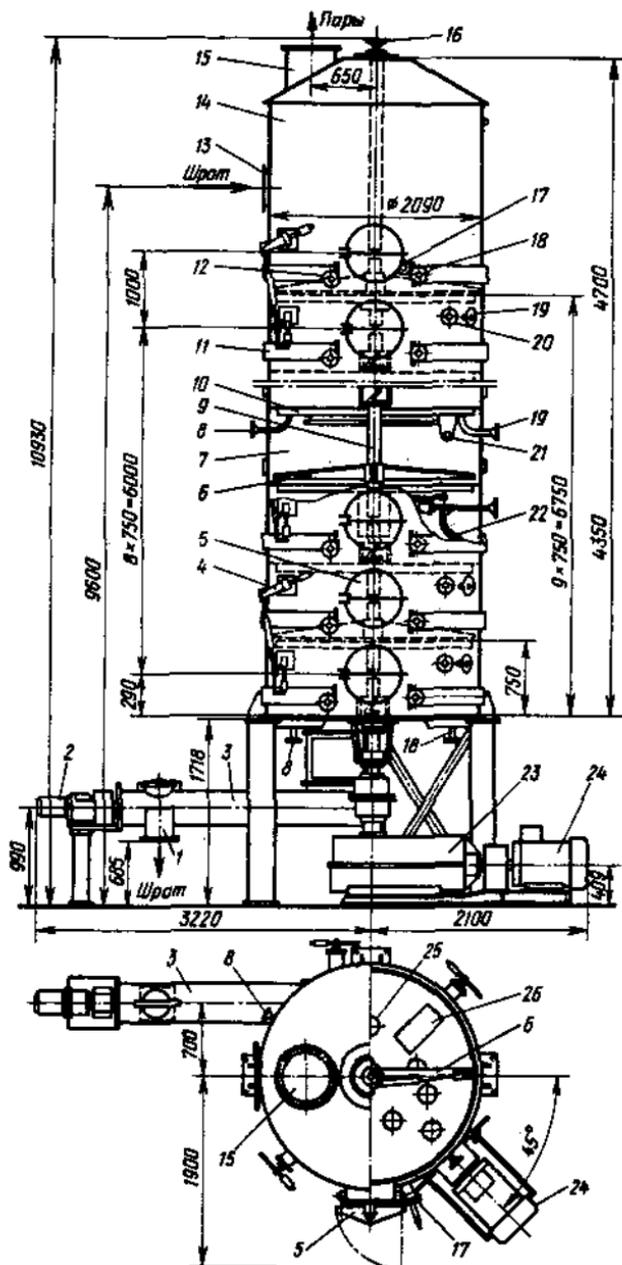


Рис. 11.3. Тостер

Тостер снабжен патрубком 13 для подвода шрота, патрубком 15 для отвода соковых паров, разгрузочным шнеком 3 с индивидуальным приводом 2 и патрубками 1 для выгрузки шрота. Кроме этого, для отбора проб и обслуживания имеются патрубок 17, соответствующие патрубки для термометров и манометров и люки-лазы 5 в каждом чане.

Тостер работает следующим образом. Шрот шнековым питателем через патрубок 13 подается в первый чан 7 тостера, где вращающиеся ножи 6 постоянно перемешивают слой материала. При достижении определенной высоты слоя шрота в чане 6 происходит изменение положения регулятора уровня 22, что приводит в движение рычажный механизм 4, изменяющий положение сегментного клапана 21. В этот момент происходит пересыпание шрота через отверстие 26 в нижележащий чан. В чанах 7 шрот нагревается и происходит отгонка растворителя и воды из шрота. Перемешивание и передвижение шрота во всех чанах аналогично описанному выше. Острый водяной пар, подаваемый в чаны 7, приводит к нагреванию шрота, увлажнению и отгонке растворителя. Соковые пары через слой шрота, минуя отверстия 25, переходят из чана в чан. В верхнем чане, пройдя через слой материала, соковые пары попадают в коллектор 14, где крупные частицы, увлекаемые газовым потоком, осаждаются. Далее паровой поток через патрубок 15 отводится на мокрое шротоулавливание и на конденсацию.

Обычно в нижние три-четыре чана тостера острый водяной пар не подают. В этих чанах происходит подсушивание шрота до заданной величины, которая зависит, в частности, от перерабатываемой маслячной

Техническая характеристика десятичанного тостера

Паспортная производительность по шроту, т/сут	200–250
Общая потребляемая мощность, кВт	50,2
Поверхность нагрева, м ²	17
Частота вращения, об/мин:	
вала мешалки	28
разгрузочного шнека	63
Число чанов	10
Диаметр чанов, мм	2000
Высота, мм:	
чанов	750
слоя материала	360
Давление греющего пара (избыточное), МПа	0,8
Габаритные размеры, мм (ширина × высота)	4320 × 10930
Масса, кг	19 000

культуры. Продолжительность процесса тостирования шрота составляет 55–65 мин. Готовый шрот с температурой 100–105°C с содержанием растворителя не более 0,05% отводится через разгрузочный шнек 3.

Вопросы теории и расчета испарителей шрота

Во всех вариантах процесса отгонки растворителя из шрота (без подачи острого пара, при увлажнении и с подачей острого пара) главным является предсказание поведения обоих летучих компонентов в шроте — растворителя и влаги.

В общем случае шрот состоит из следующих компонентов: сухое вещество (включая остаток жира после экстракции) — $G_{с.в.}$; влага — $G_в$; растворитель (бензин) — $G_б$.

Следовательно, общее количество шрота

$$G_{шр} = G_{с.в.} + G_в + G_б.$$

Если задана бензиномоекость (%) поступающего в испаритель шрота

$$Б = 100 G_б / G_{шр},$$

то можно определить количество поступающего в испаритель бензина

$$G_б = G_{шр} Б / 100.$$

Если задана влажность (%) поступающего в испаритель шрота

$$W = 100 G_в / G_{шр},$$

то можно определить количество поступающей в испаритель влаги

$$G_в = G_{шр} W / 100.$$

Количество сухого вещества, поступающего в испаритель

$$G_{с.в.} = G_{шр} (100 - Б - W) / 100.$$

Для определения количества испаренного бензина и воды в процессе отгонки необходимо решить систему из двух уравнений. В качестве *первого* уравнения может быть тепловой баланс.

Запишем уравнение теплового баланса в общем случае (возможны частные случаи, когда не проводится увлажнение водой или паром, в этих случаях соответствующие слагаемые теплового баланса исключаются)

$$Q_{с.в.}^{н} + Q_в^{н} + Q_б^{н} + Q_{ув} + Q_{оп} + Q_{под} = Q_{с.в.}^{к} + Q_в^{к} + Q_б^{к} + Q_в^{исп} + Q_б^{исп},$$

где $Q_{с.в.}^{н} = G_{с.в.} c_{шр} t_{н}$ — тепло, вносимое сухим веществом шрота, кДж/ч;
 $Q_{с.в.}^{к} = G_{с.в.} c_{шр} t_{к}$ — тепло, уносимое сухим веществом шрота, кДж/ч; $G_{с.в.}$ — производительность испарителя в расчете на сухое вещество шрота,

кг/ч; $c_{\text{шр}}$ — теплоемкость шрота, кДж/(кг · К): $c_{\text{шр}} = 1,26$ при 40°C и $c_{\text{шр}} = 1,44$ при 50°C ; $t_{\text{н}}$ и $t_{\text{х}}$ — соответственно, температура поступающего и выходящего из испарителя шрота, град; $Q_{\text{в}}^{\text{н}} = G_{\text{в}}^{\text{н}} c_{\text{в}} t_{\text{н}}$ — тепло, вносимое влагой шрота, кДж/ч; $Q_{\text{ув}} = G_{\text{ув}} c_{\text{в}} t_{\text{окр}}$ — тепло, вносимое влагой при увлажнении шрота ($t_{\text{окр}}$ — температура окружающей среды), кДж/ч; $Q_{\text{о.п}} = D_{\text{о.п}} [r_{\text{п}} + c_{\text{п}} (t_{\text{с}} - t_{\text{х}})]$ — тепло, вносимое острым паром при увлажнении шрота ($D_{\text{о.п}}$ — расход острого пара на увлажнение шрота, кг/ч; $r_{\text{п}}$ — скрытая теплота парообразования водяного пара, определяется по таблицам теплофизических свойств воды по температуре; $c_{\text{п}}$ — теплоемкость насыщенного водяного пара; $t_{\text{с}}$ — температура насыщенного пара при рабочем давлении пара), кДж/ч; $Q_{\text{в}}^{\text{к}} = (G_{\text{в}}^{\text{к}} + D_{\text{о.п}} + G_{\text{ув}}) c_{\text{в}} t_{\text{к}}$ — тепло, уносимое влагой шрота, кДж/ч;

$G_{\text{в}}^{\text{н}}$ и $G_{\text{в}}^{\text{к}}$ — соответственно, количество влаги в поступающем и выходящем из испарителя шроте ($G_{\text{в}}^{\text{к}} = G_{\text{в}}^{\text{н}} - G_{\text{в}}$), кг/ч; $c_{\text{в}}$ — теплоемкость влаги: $c_{\text{в}} = 4,2$ кДж/(кг · К); $Q_{\text{б}}^{\text{н}} = G_{\text{б}}^{\text{н}} c_{\text{б}} t_{\text{н}}$ — тепло, вносимое бензином шрота, кДж/ч; $Q_{\text{б}}^{\text{к}} = G_{\text{б}}^{\text{к}} c_{\text{б}} t_{\text{к}}$ — тепло, уносимое бензином шрота, кДж/ч; $G_{\text{б}}^{\text{н}}$ и $G_{\text{б}}^{\text{к}}$ — соответственно, количество бензина в поступающем и выходящем из испарителя шроте ($G_{\text{б}}^{\text{к}} = G_{\text{б}}^{\text{н}} - G_{\text{б}}$), кг/ч; $c_{\text{б}}$ — теплоемкость бензина ($c_{\text{б}} = 1,97 + 0,00397t$), кДж/(кг · К); $Q_{\text{исп}} = G_{\text{исп}} (r_{\text{в}} + c_{\text{в}}^{\text{н}} t_{\text{ух.п}})$ — тепло, уносимое испарившейся влагой, кДж/ч; $G_{\text{исп}} = (G_{\text{в}}^{\text{н}} - G_{\text{в}}^{\text{к}})$ — количество испарившейся влаги, кДж/ч; $Q_{\text{исп.б}} = G_{\text{исп.б}} (r_{\text{б}} + c_{\text{б}}^{\text{н}} t_{\text{ух.п}})$ — тепло, уносимое испарившимся бензином, кДж/ч; $G_{\text{исп.б}} = G_{\text{б}}^{\text{н}} - G_{\text{б}}^{\text{к}}$ — количество испарившегося бензина, кДж/ч; $r_{\text{в}}$ и $r_{\text{б}}$ — соответственно, скрытая теплота парообразования влаги и бензина, кДж/кг ($r_{\text{в}}$ определяется по таблицам теплофизических свойств воды по температуре, $r_{\text{б}} = 346,9 - 0,482t$, где t — в $^\circ\text{C}$); $c_{\text{в}}^{\text{н}}$ и $c_{\text{б}}^{\text{н}}$ — соответственно, теплоемкость паров влаги и бензина ($c_{\text{в}}^{\text{н}} = 1,94 + 0,00033t$; $c_{\text{б}}^{\text{н}} = 1,97 + 0,00397t$), кДж/(кг · К); $t_{\text{ух.п}}$ — температура уходящих паров ($t_{\text{ух.п}} = t_{\text{к}} = 70 \dots 75^\circ\text{C}$); $Q_{\text{под}} = \alpha F \Delta t_{\text{ср}}$ — тепло, подводимое от греющей поверхности к перемешиваемому слою шрота, кДж/ч; F — площадь греющей поверхности, м^2 ; $\Delta t_{\text{ср}}$ — средняя разность температур (определяется в зависимости от соотношения большей $\Delta t_{\text{б}}$ и меньшей $\Delta t_{\text{м}}$ разности температур, при $\Delta t_{\text{б}}/\Delta t_{\text{м}} < 2$ используется среднеарифметическая разность температур $\Delta t_{\text{ср}} = (\Delta t_{\text{б}} + \Delta t_{\text{м}})/2$, а при $\Delta t_{\text{б}}/\Delta t_{\text{м}} \geq 2$ — среднелогарифмическая разность температур $\Delta t_{\text{ср}} = (\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}})/2,3 \lg(\Delta t_{\text{б}}/\Delta t_{\text{м}})$, $^\circ\text{C}$).

Коэффициент теплоотдачи α от греющей стенки к перемешиваемому слою может быть определен по уравнению

$$\frac{\alpha}{\alpha_{\text{w}}} = \frac{2}{\sqrt{\pi} \text{Bi} \sqrt{\text{Fo}}} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\pi} \text{Bi} \sqrt{\text{Fo}}} \ln \left(1 + \text{Bi} \sqrt{\text{Fo}} \right) \right],$$

где α_{w} — полный коэффициент теплоотдачи у стенки: $\alpha_{\text{w}} = 200 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, при диаметре частиц шрота $d = 5 \text{ мм}$; $\text{Bi} = \alpha_{\text{w}} s / \lambda$ — число Био; s — высота

слоя шрота, м; λ — теплопроводность шрота, Вт/(м · К), для подсолнечного шрота $\lambda = 0,098$ Вт/(м · К); $Fo = at/s^2$ — число Фурье ($a = \lambda/c\rho$ — коэффициент температуропроводности шрота, м²/с; c — теплоемкость шрота, Дж/(кг · К), для подсолнечного шрота $c = 1623$ Дж/(кг · К); ρ — объемная масса шрота, кг/м³ (для подсолнечного шрота $\rho = 400$ кг/м³); $t_s = (fn)^{-1}$ — время контакта частицы шрота с нагретой поверхностью, f — частота перемешивания, n — число перемешивающих устройств вблизи поверхности.

В качестве *второго* — можно взять уравнение, характеризующее равновесное состояние бинарной смеси паров воды и бензина над слоем обрабатываемого материала.

$$\frac{\varepsilon_B G_B M_B \exp\left(A_B - \frac{B_B}{C_B + t + 273}\right)}{\varepsilon_B G_B M_B \exp\left(A_B - \frac{B_B}{C_B + t + 273}\right)} = \frac{a_B \exp\left(\frac{a_B - ka_B}{(a_B + ka_B)(t + 273)}\right)}{a_B}$$

где M_B — молекулярный вес воды ($M_B = 18,015$); M_B — молекулярный вес

бензина ($M_B = 86,178$); $a_B = \frac{G_B^k}{M_B \left(\frac{G_B^k}{M_B} + \frac{G_B^k}{M_B}\right)}$ — мольная доля бензина в смеси; $a_B = \frac{G_B^k}{M_B \left(\frac{G_B^k}{M_B} + \frac{G_B^k}{M_B}\right)}$ — мольная доля воды в смеси; A_i, B_i, C_i —

эмпирические коэффициенты ($A_B = 15,8366$; $B_B = 2697,55$; $C_B = -48,78$; $A_B = 18,3036$; $B_B = 3816,44$; $C_B = -46,13$).

Вспомогательные формулы:

$$\varepsilon_B = 16,7488(t_{кр.Б} + 273) \frac{(\sqrt{P_{кр.Б}} - \sqrt{P_{кр.В}})^2}{P_{кр.Б}}$$

$$\varepsilon_B = 16,7488(t_{кр.В} + 273) \frac{(\sqrt{P_{кр.Б}} - \sqrt{P_{кр.В}})^2}{P_{кр.В}}$$

$$k = \frac{P_{кр.В}(t_{кр.Б} + 273)}{P_{кр.Б}(t_{кр.В} + 273)}$$

где $P_{кр.i}$ — критические давления ($P_{кр.Б} = 29,3$ атм, $P_{кр.В} = 217,6$ атм); $T_{кр.i}$ — критические температуры ($T_{кр.Б} = 507,4^\circ\text{K}$, $T_{кр.В} = 647,3^\circ\text{K}$).

Система из двух представленных уравнений содержит два неизвестных — количество испаренного бензина G_6 и воды $G_в$.

Ход расчета следующий. В уравнение теплового баланса подставляются все известные численные значения, и оно преобразовывается в уравнение, содержащее два неизвестных G_6 и $G_в$.

Затем преобразовывается второе уравнение. Вычисляются $\epsilon_6 = 25293,2$, $\epsilon_в = 4344,8$ и $k = 5,82$. С учетом этого вначале преобразуется левая часть уравнения, в которой после подстановки известных численных значений содержатся два неизвестных G_6 и $G_в$. При преобразовании правой части надо иметь в виду, что выражение, стоящее под знаком экспоненты, стремится к нулю, и, следовательно, его можно не учитывать.

Контрольные вопросы

1. Какие технологические задачи решают при обработке шрота?
2. Как устроен и работает модернизированный шнековый испаритель линии НД-1250?
3. Как осуществляется смазка трущихся узлов в шнековом испарителе?
4. Как устроен и работает шнековый испаритель экстракционной линии МЭЗ-350?
5. Как устроен и работает чанный тостер?
6. Как осуществляется перепуск шрота из чана в чан в тостере?

ГЛАВА 12.

ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭКСТРАКЦИОННОГО ЦЕХА

Как уже было отмечено, к основным процессам экстракционного производства относят экстракцию, дистилляцию мисцеллы и отгонку растворителя из шрота. Кроме основных процессов, в экстракционном производстве применяют целый ряд вспомогательных процессов:

- очистка мисцеллы;
- промежуточное хранение растворителя и очистка его от воды;
- очистка паробензиновых смесей, полученных при отгонке растворителя из шрота;
- конденсация смеси паров растворителя и воды;
- подогрев мисцеллы;
- рекуперация паров растворителя из их смесей с воздухом.

В целом экстракционное производство функционирует как система основных и вспомогательных процессов, и эффективность ее зависит от каждого включенного процесса.

В данной главе рассмотрено оборудование, предназначенное для выполнения вспомогательных процессов маслоэкстракционного производства.

Оборудование для очистки мисцеллы

Мисцелла поступает на дистилляцию с содержанием твердых частиц не более 0,025%, тогда как мисцелла, выходящая из загрузочной колонны шнекового экстрактора, содержит в виде примесей от 0,1 до 1% твердых частиц, увлекаемых потоком мисцеллы из экстрагируемого материала в процессе непрерывного противоточного экстрагирования.

Частицы твердой фазы удаляют из мисцеллы потому, что при отгонке растворителя в дистилляторах остающиеся частицы твердой фазы увеличивают отстой в экстракционном масле. Эти частицы, отлагаясь на поверхности нагрева дистилляторов, увеличивают термическое сопротив-

ление стенки и, соответственно, уменьшают общий коэффициент теплопередачи, а также снижают качество экстракционного масла, в частности, повышается кислотность масла и оно сильно темнеет.

Отделение частиц твердой фазы от жидкой возможно методами отстаивания, центрифугирования и фильтрования.

При экстрагировании по способу погружения материала в растворитель на модернизированном экстракторе НД-1250 предварительную очистку мисцеллы от твердой фазы производят путем отстаивания в декантаторе экстрактора, а затем в мисцеллосборниках. Окончательную очистку мисцеллы проводят фильтрацией.

Экстракторы орошения обеспечивают предварительную очистку мисцеллы самофильтрацией через слой экстрагируемого материала. Дополнительно мисцеллу очищают промывкой в мисцеллопромывателе через водно-солевой слой и последующей полировочной фильтрацией.

Таким образом, фильтрация с применением различных фильтров (патронных, ротационных дисковых и др.) является основным способом очистки мисцеллы. В последнее время все большее распространение получает ротационный дисковый фильтр.

Ротационный дисковый фильтр (рис. 12.1) является аппаратом непрерывного действия и обеспечивает очистку мисцеллы, содержащей от 0,1 до 1,0% твердых частиц.

Фильтр состоит из сварного цилиндрического корпуса 6 на раме 1, к которой приварены плоские крышки 15. Внутри корпуса 6 расположен полый вал 7, охватываемый цилиндрическим коллектором 9 с закреп-

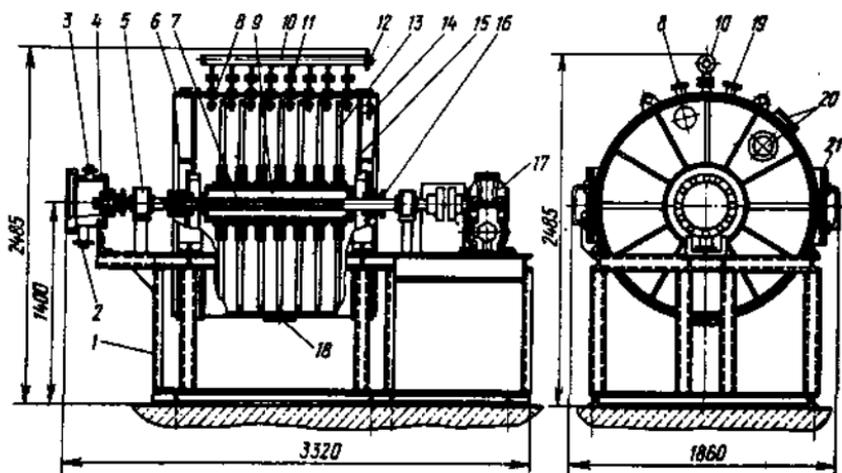


Рис. 12.1. Ротационный дисковый фильтр

ленными на нем семью дисками 13, каждый из которых обтягивается фильтровальной тканью.

Конструктивно каждый диск состоит из десяти секторов. Каждый сектор (рис. 12.2) отдельно обтянут фильтровальной тканью, что дает в целом диск, соединенный с помощью прижимных планок 2 и спиц 1 из отдельных секторов.

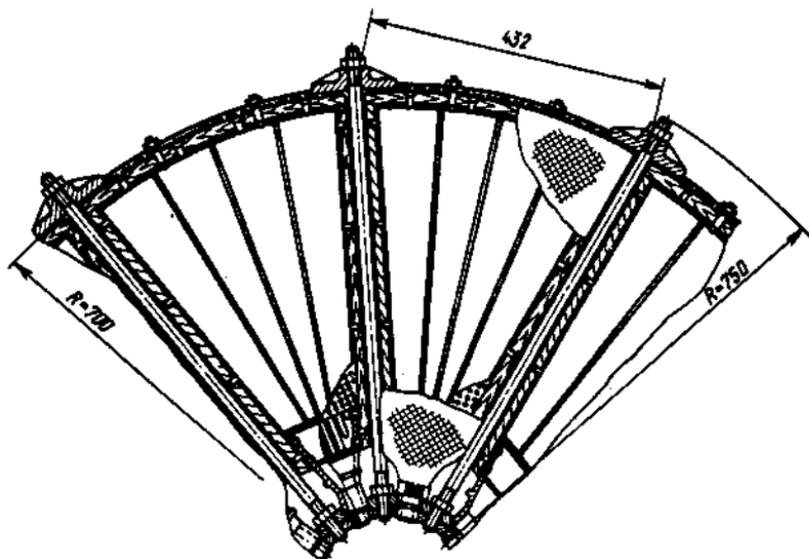


Рис. 12.2. Сектор фильтрующего диска

На боковых цилиндрических поверхностях корпуса фильтра (см. рис. 12.1) имеются люки 21, через которые можно вынимать любой сектор дисков для замены фильтр-ткани, а также проводить внутренний осмотр и необходимое обслуживание. Кроме люков 21 на корпусе б фильтра расположены два смотровых окна 20, патрубки для воздушной линии, предохранительного клапана 19 и манометра 8.

В крышках 15 корпуса б имеются центральные отверстия для прохода вала 7. В местах прохода вала предусмотрены сальниковые уплотнения 16. Неочищенная мисцелла подается через патрубок 14 на плоской крышке, а очищенная мисцелла выходит по полуму валу через смотровой фонарь 4. Сверху корпуса фильтра расположен распределительный коллектор 10 для размывателей 11 слоя осадка между дисками (путем подачи под напором неочищенной мисцеллы). В нижней части корпуса имеется патрубок для спуска шлама 18.

Полый вал вместе с дисками приводится во вращение с помощью электродвигателя через редуктор 17.

Фильтр работает следующим образом. Неочищенная исходная мисцелла под напором до 0,2 МПа поступает в корпус фильтра, проходит фильтрткань, попадает в коллектор и уже очищенная отводится через смотровой фонарь. Частицы твердой фазы, содержащиеся в неочищенной мисцелле, откладываются на поверхности фильтрткани при фильтрации мисцеллы. Во время фильтрации диски неподвижны, и слой осадка с их поверхности удаляется струями неочищенной мисцеллы, подаваемой через размыватели. С увеличением продолжительности работы фильтра фильтрткань забивается, соответственно снижается производительность фильтра, а давление внутри корпуса фильтра может превысить допустимое (0,2 МПа). В данном случае необходима регенерация (промывка) фильтрткани. Промывку производят нефильтрованной мисцеллой, подаваемой через размыватели на вращающийся вал с дисками.

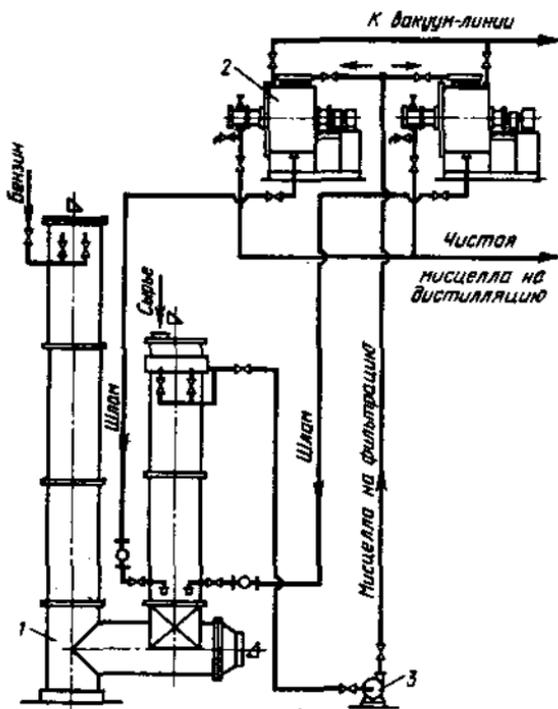


Рис. 12.3. Принципиальная схема установки для фильтрации мисцеллы

В результате осадок с поверхности дисков сбрасывается в нижнюю часть корпуса, а сама поверхность фильтр-ткани промывается струями мисцеллы из размывателей. Осадок (шлам) удаляется периодически или непрерывно в экстрактор (рис. 12.3).

В технологической схеме экстракционной линии устанавливается несколько фильтров, что обеспечивает циклический режим их регенерации и позволяет иметь резервный фильтр для проведения длительных работ по замене фильтр-ткани на отдельных фильтрах.

Техническая характеристика дискового фильтра

Производительность (по профильтрованной мисцелле), м ³ /ч	9
Содержание твердых частиц в мисцелле (весовой отстой) после фильтрации, %	до 0,02
Площадь поверхности фильтрации, м ²	16,8
Давление фильтрации, МПа	до 0,2
Число фильтрующих дисков	7
Диаметр фильтрующего диска, мм	1400
Частота вращения фильтрующих дисков при регенерации, об/мин	26
Установленная мощность электродвигателя, кВт	4,5
Габаритные размеры, мм	3320 × 1860 × 2485
Масса, кг	2755

Емкостное оборудование для промежуточного хранения, промывки мисцеллы и водоотделения

Стабильной и непрерывной работе фильтров и дистилляционной установки способствует включение в экстракционную линию мисцелло-сборников как для неочищенной мисцеллы после экстракторов, так и для очищенной мисцеллы после фильтров.

В мисцеллосборниках мисцелла отстаивается. Поэтому, в отличие от ранее применявшихся горизонтальных цилиндрических емкостей, в настоящее время мисцеллосборники представляют собой вертикальные резервуары с коническими днищами. По мере накопления шлама он сбрасывается в экстрактор.

С учетом габаритов емкостного оборудования, в настоящее время выявилась тенденция совмещения мисцеллосборников, мисцеллопромывателей и водоотделителей. В частности, такое конструктивное решение применено в экстракционной линии МЭЗ (рис. 12.4).

Совмещенный аппарат имеет горизонтальный цилиндрический корпус 1 со сферическими днищами и внутренними перегородками. Аппарат разделен вертикальной герметичной перегородкой 10. Левая часть ап-

ванную трубу 38. Мисцелла, как жидкость с меньшей плотностью, проходит в виде отдельных струй через слой солевого раствора и образует собственный слой над этим раствором. Частицы твердой фазы мисцеллы, при прохождении ее через водный солевой раствор, увлажняются, отделяются и остаются в солевом растворе. В этом процессе мисцелла получает дополнительную очистку и от других примесей.

Предварительный водоотделитель занимает смежное положение по отношению к мисцеллопромывателю. Он расположен правее мисцеллопромывателя и представляет собой объем, ограниченный слева герметичной перегородкой, а справа — перегородкой 12, не доходящей до самого верха.

В водоотделителе имеются два ввода 25, 26 (по одному поступает конденсат из конденсаторов, работающих под вакуумом, а по другому — конденсат из конденсаторов, работающих при атмосферном давлении). Сверху на корпусе предварительного водоотделителя расположены патрубок 9 для отвода газобензиновой смеси и люк 3, а снизу — патрубки для слива растворителя 27 и воды 28. Отбор из средней части идет через колено 24.

В горизонтальном диаметральном сечении расположено заборное поворотное колено для отвода эмульсионного слоя. Для поворота колена имеется штурвал, вынесенный за пределы корпуса. Снизу через перегородку, отделяющую предварительный водоотделитель от окончательного водоотделителя, введена фигурная труба 14, предназначенная для перепуска воды из предварительного в окончательный водоотделитель. Для предотвращения сифонного эффекта перепускная труба уже в пределах окончательного водоотделителя в верхней части снабжена трубкой, которая своим верхним открытым концом расположена в газовой фазе. Сток бензина из предварительного водоотделителя происходит по лотку 13, закрепленному на стойке 18.

Окончательный водоотделитель расположен между предварительным водоотделителем и рабочим баком для растворителя. Данный объем внутри корпуса выделен перегородками, которые не перекрывают сечение корпуса в верхней части. Над окончательным водоотделителем сверху корпуса расположен люк 3. Снизу корпуса имеются патрубки для слива растворителя и воды. Кроме перепускной трубы в предварительный водоотделитель, в окончательном водоотделителе имеется водоотводящая труба 19, которая имеет Г-образную форму, с забором снизу водоотделителя и выходом за пределами корпуса в коллектор и патрубок на рекуператор. Имеется переливной патрубок 17, который служит для отвода сточных вод из окончательного водоотделителя (минуя рекуператор) непосредственно в дворовые бензолушки. Отвод выделившегося в окончательном водоотделителе растворителя в рабочий бак происходит по общему с предварительным водоотделителем лотку 13.

Крайний правый отсек корпуса занимает рабочий бак для растворителя, который имеет патрубок для отвода избытка растворителя, а также патрубки 21, 22, 23 для подключения бензинового насоса и для слива растворителя. В нижней части имеется пробный кран 20.

Техническая характеристика аппарата

Объем, м ³ :	
мисцеллопромывателя	10
предварительного водоотделителя	5
окончательного водоотделителя	3,5
рабочего бака для растворителя	0,5
Общие габаритные размеры, мм (диаметр × длина)	2024 × 6000

Водоосадитель автоматического действия (рис. 12.5) предназначен для отделения воды от растворителя непосредственно перед подачей его в экстрактор.

Водоосадитель представляет собой вертикальную цилиндрическую колонну, смонтированную на опорных лапах 3. Внутри колонны эксцентрично установлена направляющая труба 2, в которую в самом вер-ху врезан патрубок 22 впуска растворителя, и верхний срез ее трубы имеет днище.

В нижней части колонны размещено поплавковое устройство, состоящее из поплавка 5, системы рычагов и тяг 11, 13, 15, 18, соединенных щечками и пальцами 12, 14, 17 между собой и клапаном 10 регулируемого вентиля. Рычажная система размещена в отводе 19 с манометром 20 и крышкой 16, она имеет две фиксированные оси 12, 17. На верхней оси, снаружи аппарата, установлен груз балансирный, который позволяет отрегулировать механизм водоотводчика так, чтобы поплавок, погруженный в растворитель, тонул. Соответственно, как только в нижней части колонны и зоне расположения поплавка накопится вода, поплавок всплывет и через рычажную систему откроет клапан регулировочного вентиля, что позволит вытечь из аппарата накопившейся воде. Выпуск обезвоженного растворителя производится с самого верха колонны через клапан 26 выпуска растворителя. Клапаны 6, 9, 21, 23 и 25, смотровой фонарь 8 и отводы 7 и 24 обеспечивают подсоединение к трубопроводам цеха.

Для контроля за уровнем фаз и их сливом в аппарате предусмотрены смотровые окна 4 в трех сечениях по высоте колонны. Эффективность работы аппарата определяется надежностью работы поплавкового устройства. Для уменьшения трения всех шарнирных, тяговых и вращающихся элементов рычажно-поплавкового механизма их изготавливают

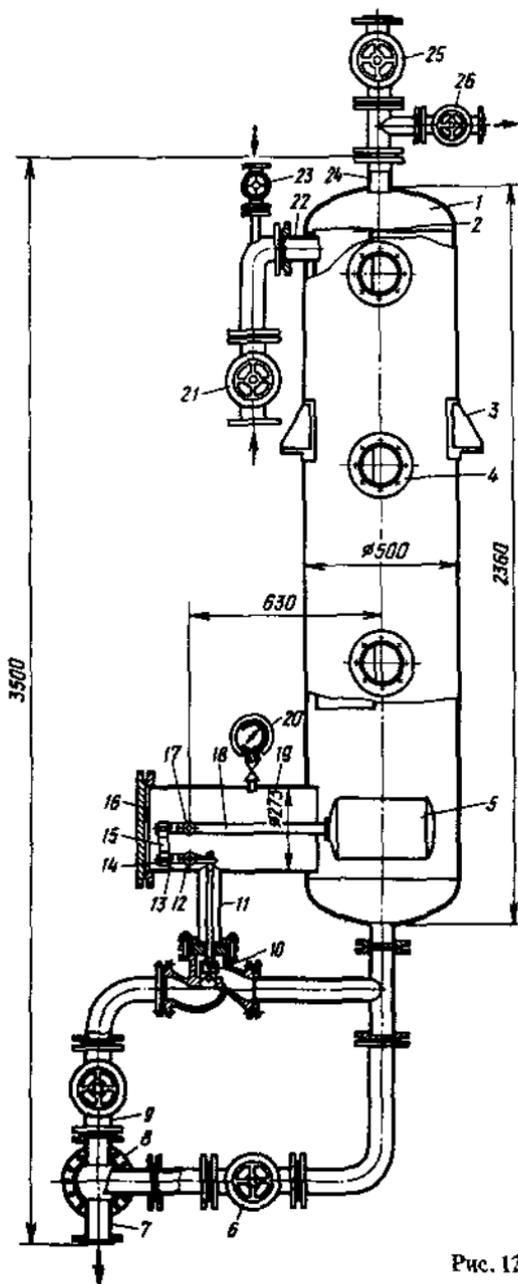


Рис. 12.5. Водоосадитель авто-
матического действия

из нержавеющей металлов (латунь, бронза, нержавеющая сталь) и размещают внутри аппарата.

Техническая характеристика аппарата

Производительность по растворителю, м ³ /ч	до 12
Рабочий объем аппарата, м ³	0,41
Габаритные размеры, мм (диаметр × высота)	500 × 3600

Оборудование для очистки паробензиновых смесей, полученных при отгонке растворителя из шрота

Из аппаратов для отгонки растворителя из шрота пары воды и растворителя выносят частицы шрота. Попадание этих частиц в конденсаторы является причиной загрязнения поверхностей теплообмена, что ведет к снижению коэффициента теплопередачи. Попадание частиц шрота в конденсат, представляющий смесь растворителя и воды, ведет к образованию плохо расслаивающихся в водоотделителях эмульсий воды и растворителя и, соответственно, к попаданию воды в емкости оборотного растворителя и растворителя в канализационные воды.

С целью устранения указанных нежелательных последствий между испарителями шрота и конденсаторами устанавливают «сухие» и «мокрые» шротоловушки, а также применяют аппараты для обработки шламовых и эмульсионных вод.

«Сухие» шротоловушки реализуют принцип отделения частиц твердой фазы от паровой фазы под действием силы тяжести. Степень очистки в таком оборудовании не превышает 40–30% и его применяют как составной элемент установок отгонки растворителя из шрота (шнековые испарители в линиях НД-1250 и МЭЗ-350) для предварительной грубой очистки отходящей паробензиновой смеси.

В современных экстракционных установках для отгонки растворителя из шрота применяют тостеры с «мокрыми» шротоловушками, которые менее громоздки и более эффективны, чем «сухие» шротоловушки.

В «мокрых» шротоловушках достигается степень очистки 95%, вследствие контакта очищаемой паробензиновой смеси с жидкой фазой (горячей водой с температурой 85–95°С или горячим растворителем). При использовании «мокрых» шротоловушек промывные воды обрабатывают в шламовыпаривателях.

Камерная «мокрая» шротоловушка (рис. 12.6) применяется в экстракционной линии НД-1250. В нее попадают на очистку пары бензина и воды

после предварительной их очистки в сухой шротоловушке, входящей в комплект шнекового испарителя.

Камерная «мокрая» шротоловушка представляет собой цилиндрический корпус с коническим днищем и плоской крышкой, который установлен вертикально на опорных лапах. Внутри корпуса находится вертикальная перегородка 1, которая продольно делит примерно на половину высоты цилиндрическую часть корпуса, начиная от крышки.

На крышке имеются два патрубка 3 для входа очищаемых паров из испарителя.

Эти патрубки входят в одно из пространств, выделенных в цилиндрическом корпусе вертикальной перегородкой, где установлены щелевые форсунки 4 для подачи горячей промывной воды. Ниже по ходу паров, под форсунками и вертикальной перегородкой, внутри цилиндрического корпуса установлена наклонная отбойная плоскость 7, которая в ко-

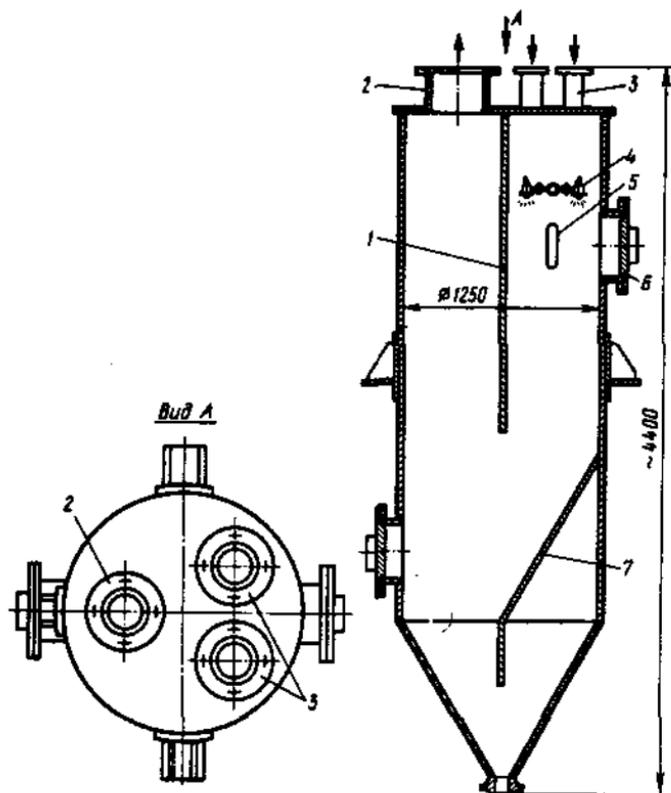


Рис. 12.6. Камерная «мокрая» шротоловушка

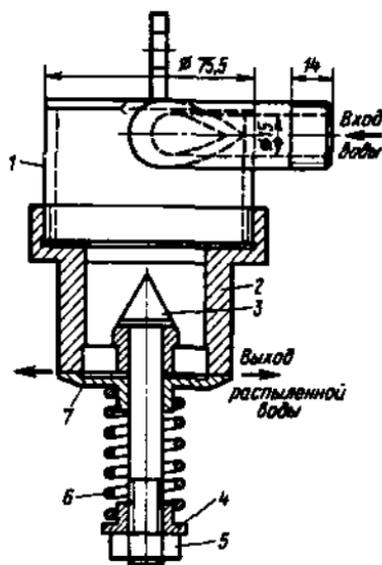


Рис. 12.7. Щелевая форсунка

Щелевая форсунка (рис. 12.7) работает в «мокрой» шротоловушке, она состоит из корпуса 1, в который по касательной врезан подвод воды.

На резьбе к корпусу присоединена приставная коробка 2, у которой в нижней части по оси расположена втулка с центральным отверстием. В это отверстие вставлен болт 3 с коническим наконечником, на который последовательно надеты клапан 7, пружина 6 и прижимная шайба 4. Сила прижатия клапана пружиной регулируется гайкой 5, которая навинчена на резьбу болта.

Форсунка работает следующим образом. Промывная вода под напором от насоса подается в корпус форсунки. Давление воды в корпусе форсунки создает силу, действующую на клапан. Если эта сила превышает силу прижатия клапана пружиной, то клапан отодвигается от торца приставной коробки, и через образующуюся кольцевую щель вытекает струя промывной воды.

Циклонная «мокрая» шротоловушка присоединена к тостеру и предназначена для очистки выходящих из него паров бензина и воды от увлеченных частиц шрота.

Шротоловушка (рис. 12.8) представляет собой цилиндр 7 с коническим днищем. По касательной к верхней части цилиндра присоединен входной патрубок 1. Сверху цилиндрическая часть аппарата закрыта

Техническая характеристика камерной «мокрой» шротоловушки

Расход промывной воды, л/мин	75
Разрежение в аппарате, кПа	До 2,45
Габаритные размеры, мм (диаметр × высота)	125 × 4400

нической части корпуса переходит в вертикальную короткую плоскость. Второе пространство, выделенное вертикальной перегородкой в цилиндрическом корпусе, сообщается с патрубком 2 для выхода очищенного пара на конденсатор.

Для наблюдения за факелами форсунок при распылении промывной воды на стенке корпуса имеется смотровое окно 5. Для технического обслуживания на цилиндрическом корпусе смонтированы два люка 6.

крышкой, в которой в центре крепится труба *б*, а по периферии расположены десять форсунок *4*, объединенных общим кольцевым коллектором. К фланцу центральной трубы крепится ее продолжение с отводом под углом 90° . На отводе по оси установлена еще одна, 11-я, форсунка *3* и рядом люк *2*, который можно использовать для очистки отвода при засорении его осевшими из парового потока частицами шрота. Против каждой из десяти форсунок на цилиндрическом корпусе находятся смотровые окна *5* для наблюдения за их работой. В коническом днище нижний осевой патрубок предназначен для отвода шламовых вод, патрубок в средней части конуса с присоединенным гидравлическим затвором *8* предназначен для отвода паров при повышении давления в системе.

Форсунки (рис. 12.9), установленные на циклонной «мокрой» шротовловушке, относятся к щелевому типу. Форсунка состоит из корпуса *1*, в нижней части которого на резьбе крепится седло *7* с направляющей втулкой *6*. Внутри корпуса расположен шток *2*, который способен перемещаться по направляющей втулке в осевом направлении. На нижнем конце штока приварена тарелка *8*, которая под действием пружинно-регулирующего устройства *3*, *4* в верхней части корпуса форсунки плотно прижимается к седлу. Пружинно-регулирующее устройство отделено от внутреннего объема корпуса сальниковым уплотнением и снаружи закрыто герметической крышкой на резьбе. В верхней части корпуса врезан боковой подводящий патрубок, а в сред-

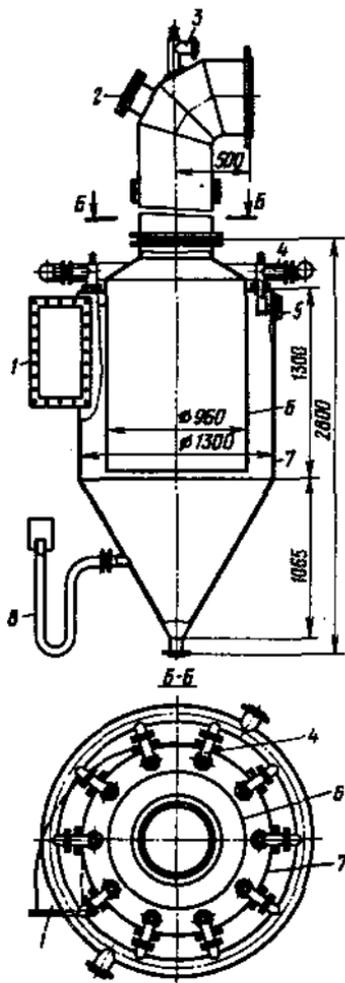


Рис. 12.8. Циклонная «мокрая» шротовловушка

Техническая характеристика циклонной «мокрой» шротовловушки

Габаритные размеры, мм (диаметр × ширина × высота)	1300 × 2000 × 2800
Разрежение в аппарате, кПа	до 2,45

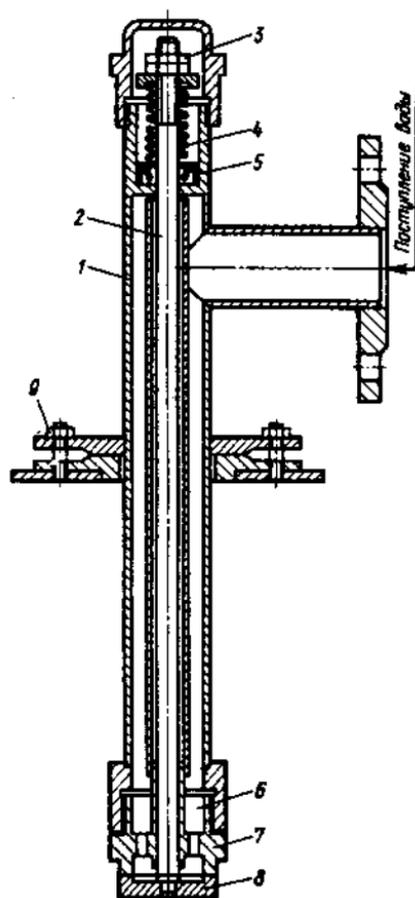


Рис. 12.9. Щелевая форсунка к циклонной шротоловушке

змеевиков *18*, расположенных в горизонтальной плоскости внутри аппарата и предназначенных для подачи глухого пара. Острый пар подается с помощью инжектора *20*, расположенного в нижней части по оси аппарата. В средней части аппарата на двух отводах крепится указатель уровня *5*. Ввод *10* эмульсионных и шламовых вод, а также вывод *3* горячей воды в мокрую шротоловушку производится через патрубки в центральной части аппарата. Вверху по оси аппарата в крышке имеется патрубок *8*, защищенный зонтом *19*, для отвода на конденсацию паровоздушной смеси. В днище горизонтально вварен патрубок *13* для удаления смеси воды и шлама

ней — приварен опорный фланец, который позволяет крепить форсунку на шпильках *9* к корпусу.

При работе паровая фаза с увлеченными частицами из тостера по входному касательному патрубку поступает в кольцевое пространство циклонной мокрой шротоловушки. На частицы, движущиеся по кольцевому пространству, действуют центробежные силы, что заставляет их оседать на цилиндрическую стенку корпуса. Горячая вода (возможно использование растворителя) распыляется форсунками и смывает частицы шлама, осевшие на стенке корпуса. Применение горячей воды исключает конденсацию растворителя. Очищенные пары воды и бензина отводятся по центральной трубе, а смытый шлак через нижний патрубок в конусе направляется на шламывыпаривание.

Шламывыпариватель (рис. 12.10) представляет собой цельносварной аппарат *6* с эллиптическими днищем и крышкой *2, 7*, установленный вертикально на опорах *1*. В средней части цилиндрического корпуса имеются два люка *9*, в крышке каждого вварены входной и выходной концы *4, 11*

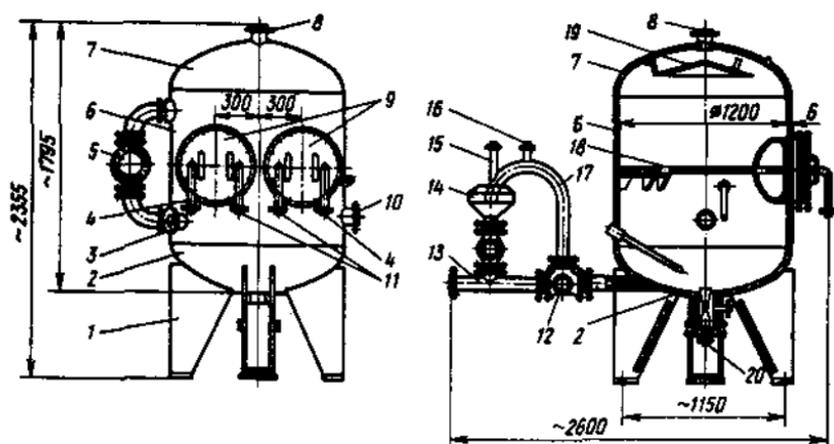


Рис. 12.10. Шламовыпариватель

из аппарата. Этот патрубок присоединен к трехходовому крану 12, с помощью которого поток можно направлять по переливной трубе 17 в воронку 14 или же непосредственно в дворовую бензолушку. На переливной трубе в верхней точке находится патрубок 16, соединенный с атмосферой и тем самым обеспечивающий «разрыв» сифона и предохраняющий от возможного выброса всего содержимого аппарата через переливную трубу.

Техническая характеристика шламовыпаривателя

Вместимость рабочая (до уровня змеевиков), м ³	0,8
Площадь поверхности нагрева змеевиков, м ²	1,0
Масса, кг	700

Оборудование для подогрева растворителя (мисцеллы) и конденсации смеси паров растворителя и воды

Для осуществления подогрева растворителя и конденсации паров растворителя и воды применяются горизонтальные или вертикальные трубчатые теплообменники.

Подогреватель растворителя обеспечивает подогрев бензина перед подачей его в экстрактор. Он представляет собой горизонтальный трубчатый (трубки диаметром 32/37 мм) теплообменник с общей площадью

поверхности теплообмена 10 м^2 . Трубки обоими концами вставлены в трубные решетки и развальцованы. Снаружи трубчатка закрыта герметичным цилиндрическим кожухом, а по концам — двумя эллиптическими крышками. В крышках подогревателя растворителя имеются перегородки, которые обеспечивают четырехходовое движение подогреваемого растворителя по трубчатке теплообменника. На крышках имеются патрубки для входа (нижний) и выхода (верхний) подогреваемого растворителя и патрубков для бензинового предохранительного клапана. На кожухе расположены патрубки: для ввода пара, выхода конденсата, для манометра, парового предохранительного клапана для отвода пара и воздуха в атмосферу перед пуском подогревателя в работу.

Контроль работы аппарата осуществляют по температуре бензина и давлению в аппарате.

Вертикальный конденсатор (рис. 12.11) предназначен для превращения бензина и воды из парообразного состояния в жидкое. Он представляет собой вертикальный двухходовой трубчатый теплообменник.

Основные части аппарата — цилиндрический корпус *бс* с трубками *10*, *17* для входа паров и выхода неконденсировавшихся паров на рекуперацию, с люками *18* для осмотра и чистки межтрубного пространства, а также опорами-лапами *9* для установки конденсатора; съемная верхняя крышка *12* с патрубками *13*, *14* входа охлаждающей воды и ее выхода после двух ходов по трубчатке (несмешивание входящей и отходящей воды происходит благодаря перегородке *15* в крышке); трубчатка *8* (трубный пучок) с трубными решетками *3*, *16* с обоих концов и с продольной и поперечными перегородками *5*, *7* в межтрубном пространстве; внешнее ко-

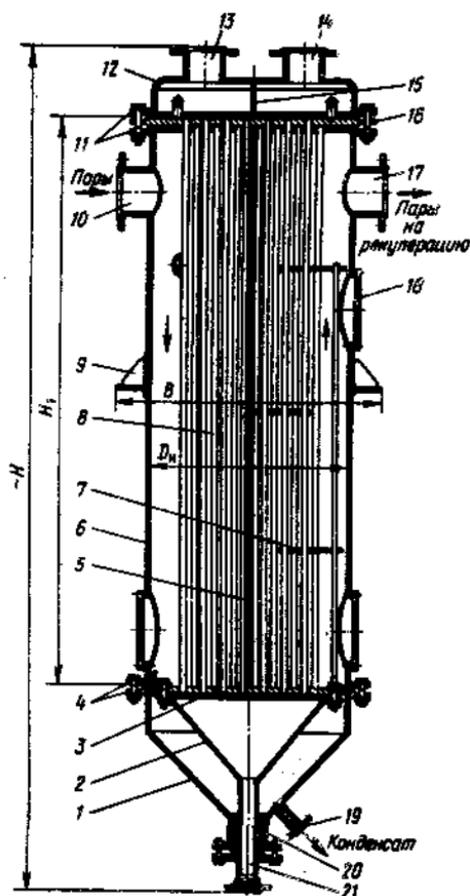


Рис. 12.11. Вертикальный конденсатор

ническое днище 1 с патрубком 19 для слива конденсата; внутреннее коническое днище 2 с патрубком 21, проходящим через сальниковое уплотнение 20, для слива охлаждающей воды. Верхняя крышка 12 и коническое днище 1 имеют болтовые крепления 11 и 4.

Конденсатор работает следующим образом. Охлаждающая вода поступает через патрубок в съемной верхней крышке и по части труб трубного пучка, выделенного перегородкой в верхней крышке, опускается вниз, попадает во внутреннее коническое днище, и при закрытом (в рабочем состоянии) сливе, поступает во вторую часть трубчатки, поднимается вверх, попадает в пространство крышки и выходит через патрубок крышки. Пары бензина и воды поступают на конденсацию через левый боковой патрубок сверху цилиндрического корпуса. В связи с тем, что трубчатку разделяет продольная вертикальная перегородка по диаметру цилиндрического корпуса, пары вынуждены двигаться в межтрубном пространстве вниз, и после того, как они обогнут снизу продольную перегородку, пары поднимаются в межтрубном пространстве вверх. На пути паров при движении их вверх встречаются три поперечные сегментные, частично перекрывающие сечение прохода, перегородки. Пары, огибая перегородки, лучше контактируют с поверхностью трубчатки и повышают эффективность теплообмена в аппарате. Процесс конденсации паров заключается в охлаждении их до температуры насыщения при давлении в аппарате и образовании жидкой фазы. Охлаждение происходит путем теплопередачи между охлаждающей водой и парами через трубчатую поверхность. Со стороны паровой фазы наиболее низкая температура имеется на поверхности труб. Здесь происходит выпадение сконденсировавшейся жидкой фазы, которая в виде пленки стекает по вертикальной поверхности труб вниз и попадает во внешнее коническое днище. Из этого днища жидкая фаза через патрубок выходит из аппарата. Несконденсировавшиеся пары выходят из аппарата через правый боковой патрубок сверху цилиндрического корпуса конденсатора.

Вертикальное исполнение конденсатора, съемное внешнее днище облегчают техническое обслуживание и ремонт конденсатора.

В настоящее время наиболее распространены конденсаторы с поверхностью теплообмена 150 м^2 (661 латунная трубка диаметром 20/25 мм).

Поверхный расчет конденсатора. Исходными данными являются: P — давление в аппарате, МПа; t_1 — температура поступающей газовой смеси, °С; t_2 — температура охлаждающей воды, °С; x_g — содержание паров воды в газовой смеси, %; x_b — содержание паров бензина в газовой смеси, %; G_1 — количество поступающей газовой смеси, кг/ч; G_2 — количество охлаждающей воды, кг/ч.

В состав газовой смеси может входить воздух. Кроме этого задаются поверхностью конденсатора F и коэффициентом теплоотдачи k . Расчет

ведется итерационным методом. Отдельная программа применяется для определения температуры конденсации t_k .

Количество тепла, выделяющегося при охлаждении паровой смеси до температуры конденсации $Q = G_1 (c_1 t_1 - c_k t_k)$, где c_1 — теплоемкость газовой смеси при t_1 , Дж/(кг · град); t_k, c_k — соответственно, температура конденсации и теплоемкость газовой смеси.

Температура охлаждающей воды на выходе $t'_2 = t_2 + Q/G_2 c_2$, где c_2 — теплоемкость воды, Дж/(кг · град). Поверхность, необходимая для охлаждения газовой смеси до t_k , $F_0 = Q/k_0 \Delta t'$, где k_0 — коэффициент теплопередачи от паровой смеси к воде при охлаждении: $k_0 = 50$ Вт/(м · К);

$$\Delta t' = (\Delta t_6 - \Delta t_u) / \ln \Delta t_6 / \Delta t_u, \quad \Delta t_6 = (t_1 - t_k); \quad \Delta t_u = (t'_2 - t_2).$$

Определяется поверхность конденсации $F_k = F - F_0$. Далее расчет конденсации ведется по участкам $\Delta F = F_k / 100$, на которых допускается несущественное изменение состава пара. На этом участке определяется количество конденсата, его состав и температура.

Определяется температура воды после каждого элементарного участка $t_2^k = t'_2 + (t_k - t'_2)\epsilon$, где $\epsilon = 1 - \exp(-N)$; $N = \Delta F k / G_2 c_2$; k — коэффициент теплопередачи от конденсата паровой смеси к охлаждающей воде: $k = 74$ Вт/(м · К).

По балансу определяется количество несконденсированных паров и их состав. Количество образовавшегося конденсата суммируется после каждого шага. Расчет продолжается до тех пор, пока охлаждающая вода может конденсировать паровую смесь.

Соответственно, на первом этапе происходит преобладающая конденсация паров воды, после полной их конденсации конденсируются пары бензина. Несконденсировавшаяся паровая смесь на выходе, как правило, содержит некоторое количество паров бензина в воздухе.

Выходными параметрами являются:

— G_k, x_b, x_g — соответственно, количество конденсата, содержание воды и бензина в нем;

— $G_p, y_b, y_6, y_{\text{воз}}$ — соответственно, количество несконденсированных паров и содержание в них паров воды, паров бензина и воздуха;

— t_k, t_2^k — соответственно, температуры конденсата и несконденсированных паров и охлаждающей воды на выходе из конденсатора.

Оборудование для рекуперации паров растворителей из смесей их с воздухом

Паровоздушная смесь, выходящая из конденсатора, содержит существенное количество паров бензина, и в связи с этим подвергается реку-

перации. В современных маслоэкстракционных установках, в основном, применяются два способа: 1) конденсация охлаждением; 2) поглощение жидким абсорбентом. Первый способ предпочтителен при обработке паровоздушных смесей с повышенным содержанием бензина. Конденсация охлаждением проводится как в поверхностных аппаратах, что характерно для рекуперационной установки в линии НД-1250, так и в аппаратах смешения, что применяется в рекуперационной установке линии МЭЗ. Эффективность конденсации охлаждением обусловлена применением возможно более низких температур охлаждающего агента (рассола), которая обычно не может быть ниже температуры образования льда.

Среди оборудования для рекуперации в линии НД-1250 одним из основных аппаратов является охладитель паровоздушной смеси (рис. 12.12). Этот аппарат предназначен для возможно более полного удаления влаги из паровоздушной смеси путем конденсации с применением охлаждающей воды с тем, чтобы облегчить работу дефлегматоров, где для охлаждения применяется рассол.

Охладитель состоит из вертикального цилиндрического корпуса 3 с размещенной внутри его трубчаткой 7 из 61 трубы диаметром 25/30 мм и общей поверхностью теплообмена 7,2 м². Нижние концы труб закреплены в неподвижной трубной решетке, а верхние — в подвижной «плавающей». Подвижная трубная решетка закрыта куполообразной крышкой 6 с центральным патрубком 4 для выхода паровоздушной смеси, снабженным отбойником капель 5.

Снизу в неподвижной трубной решетке крепится нижняя сборная камера 11 с боковым патрубком 10 для входа паровоздушной смеси (патрубок снабжен отбойником 9). Нижняя камера имеет центральный патрубок 12 для слива конденсата. На боковой стенке крепятся два крана к указателю уровня 1. Охлаждающая вода подается через патрубок 8. Слив производится через патрубок 2. Вторым основным аппаратом в схеме рекуперации охлаждением в линии НД-1250 является дефлегматор поверхностного охлаждения, который представляет собой вертикальный кожухотрубчатый теп-

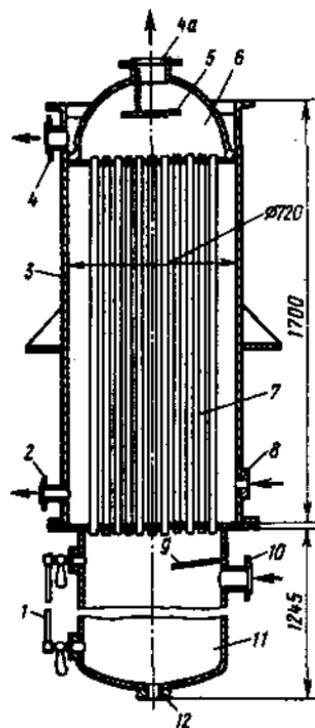


Рис. 12.12. Охладитель паровоздушной смеси

лообменник с площадью поверхности теплообмена 18 м^2 (37 труб диаметром 25/30 мм).

Охлаждение производят рассолом, который подают в нижний патрубок, в противотоке с охлаждаемой паровоздушной смесью.

Возможность исключения применения холодильной установки возникает при использовании абсорбционной рекуперационной установки (рис. 12.13), в которой реализуется процесс физической абсорбции бензина из паровоздушной смеси с помощью масляного абсорбента (вазелиновое или веретенное минеральное масло). Отделение поглощенного бензина из абсорбента производят десорбцией при температуре $130\text{--}150^\circ\text{С}$.

В целом масляно-абсорбционная установка включает совокупность аппаратов. Основными среди них являются абсорбер 2 и десорбер 7. По конструкции эти аппараты близки друг к другу; они представляют собой насадочные массообменные колонны. Диаметры колонн одинаковые — 620 мм, емкости также близки ($1,5$ и $1,6 \text{ м}^3$). В абсорбер сверху подают чистое минеральное масло, а снизу вводят паровоздушную смесь, из которой в противотоке маслом абсорбируется бензин. В десорбер сверху подают масло с поглощенным бензином, а снизу в противотоке вводят острый водяной пар, который отгоняет из абсорбента бензин.

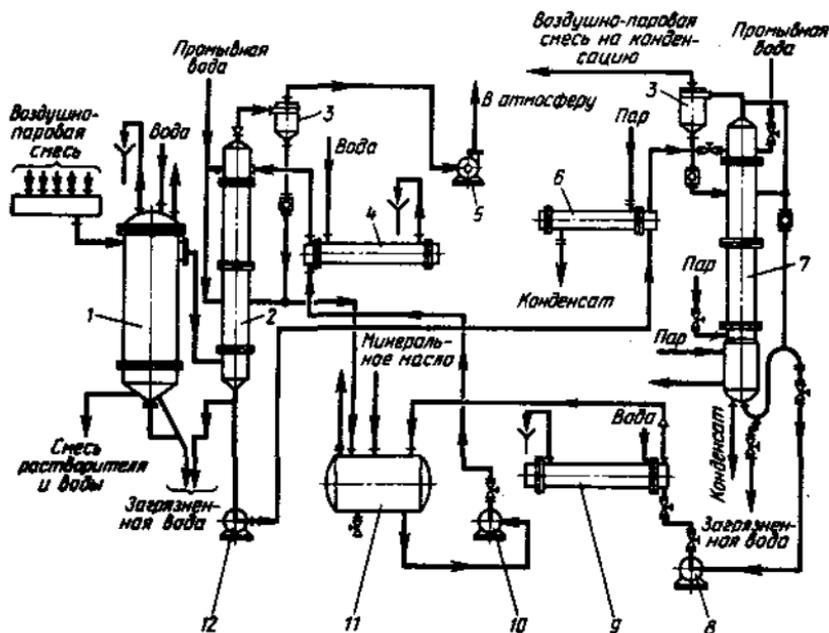


Рис. 12.13. Схема масляно-абсорбционной рекуперационной установки

Прежде чем паровоздушная смесь попадает в абсорбер, она проходит через конденсатор, где охлаждается водой, и при этом часть бензина конденсируется. Движение парогазовой смеси происходит под действием разрежения, создаваемого вентилятором 5. Этот же вентилятор выбрасывает в атмосферу воздух, очищаемый перед выходом от унесенных капелек масла в центробежном сепараторе 3. Масло после абсорбера качается насосом 12 через теплообменник 6 в десорбер 7. Очищенное масло из десорбера насосом 8 через охладитель 9 закачивается в резервуар 11 и далее насосом 10 через охладитель 4 возвращается в абсорбер 2.

Контрольные вопросы

1. Какие вспомогательные технологические процессы используются в экстракционном производстве?
2. Как устроен и работает ротационный дисковый фильтр?
3. Как устроено и работает оборудование для хранения, промывки мисцеллы и водоотделения?
4. Как устроен и работает водоосадитель?
5. Как устроена и работает камерная «мокрая» шротоловушка?
6. Как устроена и работает циклонная «мокрая» шротоловушка?
7. Как устроен и работает шламовыпариватель?
8. Как устроено и работает оборудование для подогрева мисцеллы и конденсации смеси паров растворителя и воды?
9. Как устроено и работает оборудование для рекуперации паров растворителя из смесей их с воздухом?

ТЕХНИКА МАСЛОЗАВОДОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Особенности и требования к технике для маслозаводов малой мощности

На современном этапе развития экономики страны, характеризуемом переходом к рыночным отношениям, для крупных и мелких (фермерских) производителей сельскохозяйственного сырья оказалось экономически выгодным создание перерабатывающих производств малой мощности. Выход на рынок с продукцией переработки дает хозяйствам-производителям больше прибыли, позволяет обеспечивать собственные потребности, создавать дополнительные рабочие места, использовать отходы непосредственно в хозяйстве (например, в животноводстве), уменьшить транспортные расходы при вывозе переработанной продукции в меньшем объеме, чем необработанного сырья.

В данном разделе рассматриваются вопросы техники маслозаводов малой мощности. Условия, в которых должны работать такие производства, влияют на технические решения. Общим для отечественного опыта создания маслозаводов малой мощности является использование прессового способа производства (за рубежом, в частности в Японии, имеется предложение применить при создании маслозавода малой мощности *экстракционный способ в батарейном исполнении*). Практика свидетельствует, что к настоящему времени сложилось несколько подходов технического оформления прессового способа для маслозаводов малой мощности.

Во-первых, создаются маслозаводы на производительность 50 т/сут и выше, которые используют технологию прессовых заводов и оборудование, описанное в предыдущих главах. Такие производства, соответственно, в этой части рассматриваться не будут.

Во-вторых, создаются маслозаводы на производительность до 1 т/ч, которые реализуют технологию прессового производства (т.е. выполня-

ются практически все технологические операции: семена очищаются, обрушиваются, рушанка разделяется, ядро измельчается, масло отжимается на прессах и фильтруется). Однако оборудование на такую производительность создается новое, и при этом стремятся учесть ограничения по производственным площадям и источникам энергообеспечения. Малогабаритное оборудование и рациональная его компоновка требуют малых производственных площадей, вплоть до размещения комплекта оборудования в контейнере, который может транспортироваться вместе с оборудованием на другую производственную площадку. Отсутствие котельных вынуждает отказаться от применения водяного пара и применять другие источники энергии (например, огневой или ИК-теплопровод к жаровням). Такое производство целесообразно назвать «минимаслозавод».

В-третьих, создание предприятий производительностью на уровне сотен килограмм сырья в час. Характерным является отказ от целого ряда технологических операций и сохранение главного — устройства для отжима масла как практически единственного основного оборудования. Такое производство целесообразно назвать «микромаслозавод».

Комплекты оборудования

Рассмотрим несколько комплектов оборудования для «минимаслозаводов», которые получили наибольшее распространение. На рис. V.1 показан комплект оборудования для производства растительного масла, который разработал и выпускает в двух модификациях (KM400 и KM1000)

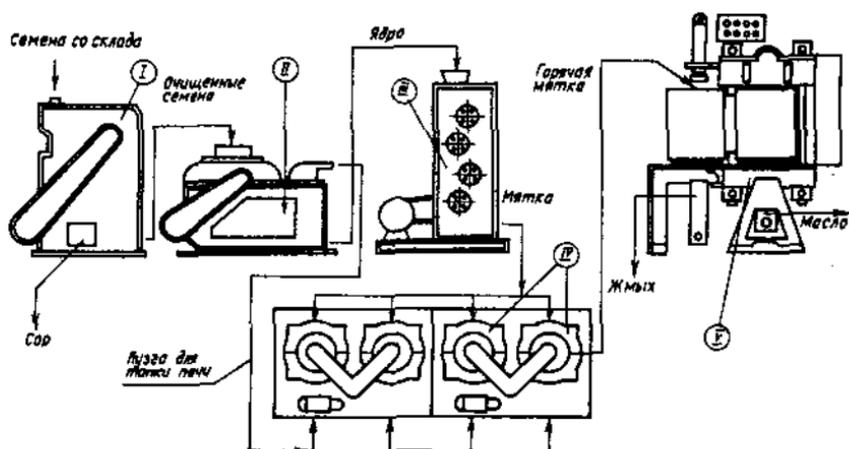


Рис. V.1. Схема комплекта оборудования минимаслозавода (KM400 и KM1000)

Техническая характеристика

Показатель	Модификации комплекта	
	КМ400	КМ1000
Производительность, кг/ч	400	400
Установленная мощность, кВт	31,5	35,4
Влажность семян не более, %	8	8
Остаточная маслячность жмыха, %	10–11	10–11
Масса, кг	12950	14750
<i>Сепаратор</i>		
Производительность, кг/ч	400	1000
Эффективность очистки, %, не менее	60	
Частота вращения эксцентрикового вала, мин ⁻¹	462,5	
Амплитуда колебаний, мм	6,5	
Установленная мощность, кВт	1,5	2,2
Габаритные размеры, мм	1550×1100×1600	1750×1325×1855
Масса, кг	490	540
<i>Машина рушально-веечная</i>		
Производительность, кг/ч	400	1000
Установленная мощность, кВт	3	3,7
Габаритные размеры, мм	1880×820×1242	2182×1150×1415
Масса, кг	490	700
<i>Станок вальцовый</i>		
Производительность, кг/ч	500	1000
Установленная мощность, кВт	5,58	
Габаритные размеры, мм	1809×910×1190	1174×1120×1560
Масса, кг	1150	1940
<i>Жаровня</i>		
Производительность, кг/ч	400	1000
Частота вращения мешалки, мин ⁻¹	21,5	
Установленная мощность, кВт	3	
Температура нагрева продукта, °С	120	
Габаритные размеры, мм	2250×1670×800	2700×1810×830
Масса, кг	2460	
<i>Пресс гидравлический</i>		
Производительность (по семенам подсолнечника), кг/ч	260	295
Остаточная маслячность жмыха, %	10–11	
Диаметр зерра, мм	400	700
Давление прессования, МПа	25	
Установленная мощность двигателя гидростанции, кВт	18,5	
Габаритные размеры, мм:		
пресса	1500×1250×3000	1995×80×2665
гидростанции	1045×1020×1620	
Масса пресса, кг	3800	5800

АООТ «Азовский завод кузнечно-прессовых автоматов». Комплект предназначен для выработки растительного масла из семян подсолнечника. Он состоит из сепаратора (I), машины рушально-веечной (II), станка вальцового (III), двух огневых жаровен (IV) и прессы гидравлического (V).

Два варианта комплекта минимаслозавода разработал и выпускает ПО «Роспродмаш». Комплект Е8-МКС.ПС (рис. V.2) отличается тем, что в нем жарение мятки происходит в одной паровой жаровне Е8-МЖБ, а в комплекте Е8-МКБ.ПС (рис. V.3) жарение происходит в четырех огне-вых жаровнях Е8-МЖА.

При наличии определенных достоинств известных маслозаводов, они обладают рядом недостатков. Основным недостатком ряда из них является повышенная остаточная маслячность прессуемого материала, что является следствием малого выхода масла. Наличие большого количества лузги в маслячном материале из-за отсутствия операции обрушивания, отсутствие специальной подготовки или жесткие режимы огневого жаренья материала перед прессованием приводят к получению масла низкого качества.

Исходя из принципа обеспечения конкурентоспособности малых производств, необходимости снижения капитальных затрат на создание и эксплуатацию производственного оборудования, повышения выхода и качества получаемого прессового масла, а также с учетом современного опыта создания эффективного оборудования для масложи-ровой промышленности, в АО «Южно-Российский Технопарк» (г. Краснодар) был разработан, а затем изготовлен на НПО «Кузробот» (г. Таганрог) комплект оборудования для завода малой мощности по производству растительного масла производительностью до 1000 кг/ч по се-менам подсолнечника.

Основными принципами при этом были следующие: создать комплект оборудования и технологию с меньшим числом стадий за счет совме-щения процессов; отказаться при энергообеспечении производства от котельной (водяного пара); обеспечить качество продукции за счет ис-ключения высоких температур (имеющих место при огневом жарении), уменьшить длительность обработки с ограничением доступа кислорода воздуха к маслу в зоне измельчения и влаготепловой обработки.

В комплект разработанного минимаслозавода (рис. V.4) входит сле-дующее основное оборудование: шнековый пресс-экструдер (4), две ИК-жаровни 1, рушка-сепаратор 2 и аспиратор 3.

Маслозавод работает по следующей схеме. Маслосемена из кузова машины поступают в приемный бункер, откуда с помощью норрии по-даются после очистки в ИК-жаровню, где они подготавливаются к об-рушиванию (при ИК-обработке ослабляются связи лузги с ядром и лузга приобретает хрупкость, а ядро — пластичность). В разработанной руш-

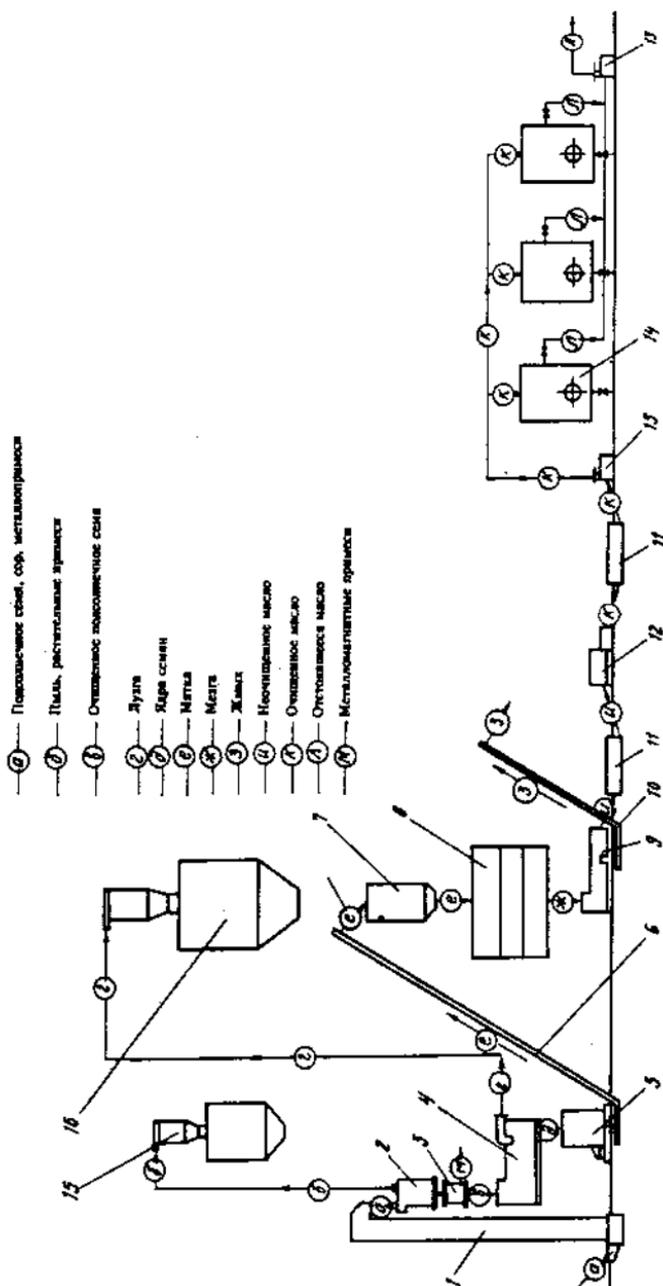


Рис. У.2. Схема размещения оборудования в маслоцехе производительностью 15 т/сут с паровой жаровней:

1 — элеватор 46 ПКЦ-3-91-5; 2 — сепаратор Б6-МСА-1; 3 — кланка магнитная БКМА2.300А; 4 — машина рушально-весенная Б6-МРА-1; 5 — станок малый вальцовый Б6-МВС; 6, 10 — конвейеры скребковые цепные У10-ТСЦ; 7 — накопитель для мятки 46 ПКЦ-3-91-32; 8 — жаровня Е8-МЖБ; 9 — пресс шнековый зерновой Е8-МЛШ; 11 — бак Е8-ММБ; 12 — фильтр-пресс Е8-МФП; 13 — насос НЦС 12-10; 14 — бак Е8-ММА; 15 — бункер для лузги с циклоном 46 ПКЦ-3-91-31а; 16 — бункер для пыли 46 ПКЦ-3-91-34

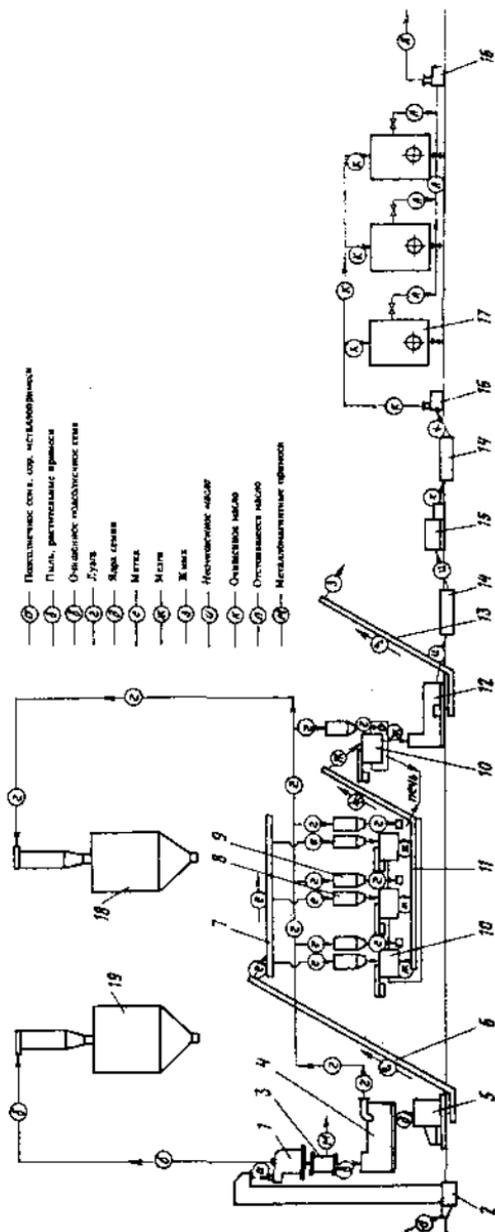
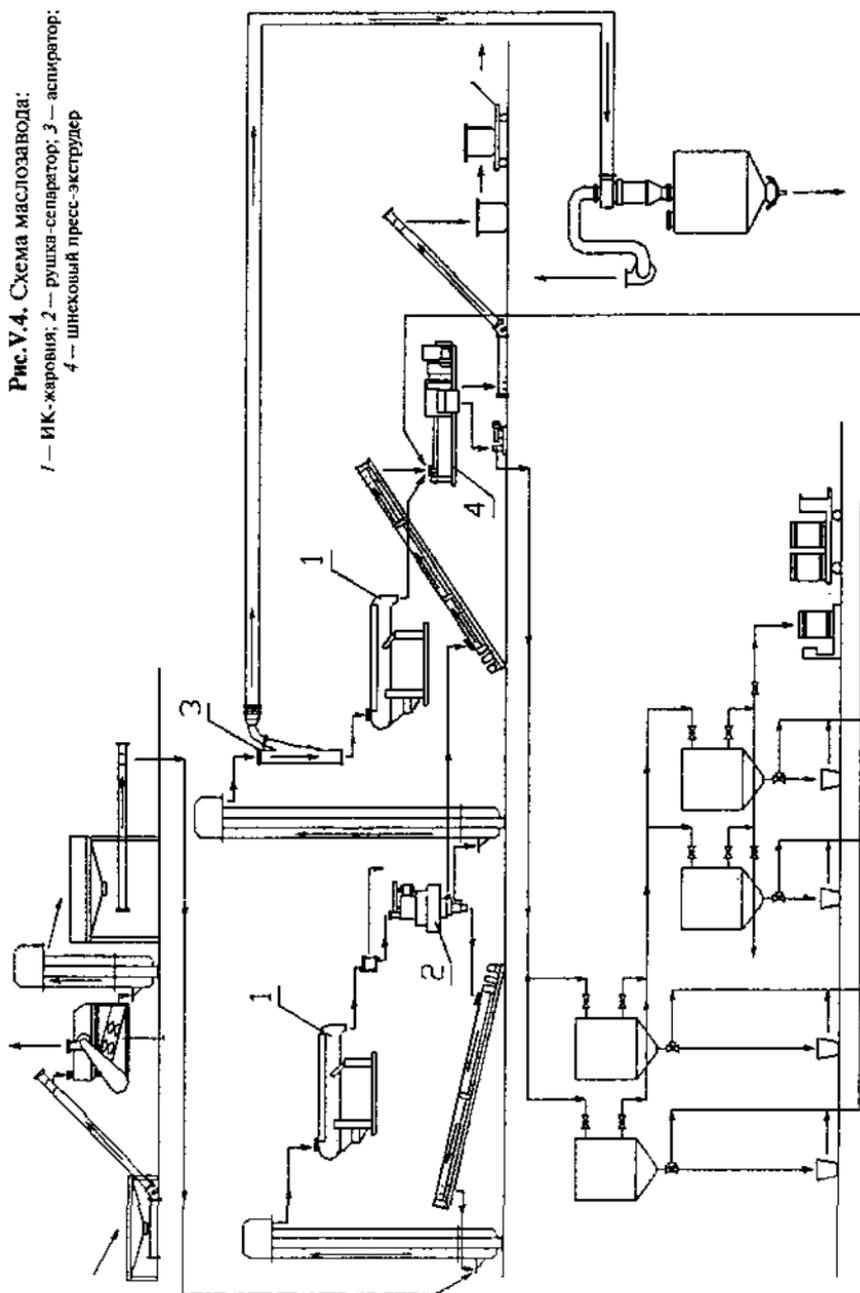


Рис. V.3. Схема размещения оборудования в маслохсе производительностью 15 т/сут с огневыми жаровнями:

1 — сепаратор Б6-МСА-1; 2 — элеватор 46 ПКЦ-3-91-3; 3 — колонка магнитная БКМАЗ.300А; 4 — машина рашально-всасывающая Б6-МРА-1; 5 — стаянок малый вальцовый В6-МВС; 6, 7, 11, 13 — конвейеры цепные скребковые У10-1СЦ; 8 — накопитель для мятки 46 ПКЦ-3-91-32; 9 — накопитель для лузги 46 ПКЦ-3-91-33; 10 — жаровня Е8-МЖА; 12 — пресс шнековый теорный Е8-МПШ; 14 — чаш Е8-ММЕ; 15 — фильтр-пресс Е8-МФЛ; 16 — насос НПС-12-10; 17 — бак Е8-ММА; 18 — бункер для лузги 46 ПКЦ-3-91-31а; 19 — бункер для пыли 46 ПКЦ-3-91-34

Рис. У.4. Схема маслозавода:

1 — ИК-жаровня; 2 — рушка-сепаратор; 3 — аспиратор;
4 — шнековый пресс-экструдер



ке-сепараторе совмещен процесс обрушивания и разделения рушанки на фракции по размерам. При этом формируется на выходе три потока, которые, в зависимости от их состава, направляются на следующие участки технологической схемы: первый поток является недорущем — возвращается в приемный бункер; второй поток, состоящий из ядра семян подсолнечника и частиц лузги, направляется в аспиратор, где потоком воздуха уносится лузга; поток ядра вместе с сечкой (третий поток) поступает в ИК-жаровню. ИК-обработка позволяет осуществить вскрытие клеточных структур, которое завершается в мелющей части шнекового пресса-экструдера новой конструкции без доступа кислорода воздуха, что способствует более глубокому извлечению масла лучшего качества. Очистка прессового масла ведется методом последовательного отстаивания и разделения фаз. Данное технико-аппаратурное исполнение данной операции производства наиболее просто и экономическое целесообразно при небольшом объеме производства.

Технические характеристики минимаслозавода

Производительность, кг/ч	до 1000
Выход масла, %	35–38
Количество обслуживаемого персонала	3
Установленная мощность основного оборудования, кВт	94,5

Отдельные виды оборудования

Для минимаслозаводов необходимо применение нескольких видов оборудования для реализации основных технологических операций пресового способа производства растительного масла. Здесь будут рассмотрены лишь некоторые виды, которые характерны для современного уровня развития техники и получили распространение на практике.

Оборудование для сушки семян. Для малых производств рекомендуется сушилка передвижная К4-УС2-А с производительностью 8 т/ч (рис. V.5).

Сушилка К4-УС2-А непрерывного действия, шахтного типа, предназначена для сушки практически всех видов зерна и семян подсолнечника. Устанавливается на открытом воздухе при температуре от -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

Сушилка состоит из топочного агрегата и сушильной части, смонтированных на шасси автомобильного прицепа МА3-8925. Топочный агрегат включает в себя топку, форсунку, вентиляторы I и II зон сушки, вентилятор высокого давления (дутье форсунки), воздухопроводы, системы

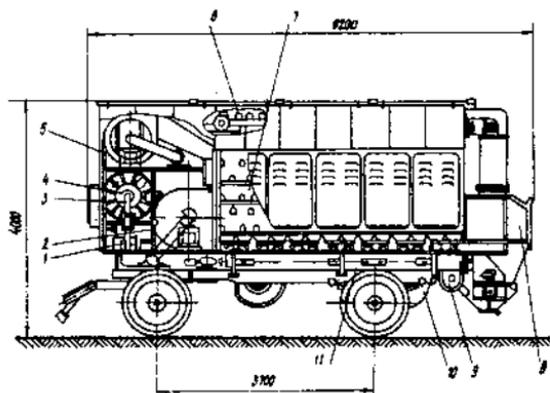


Рис. V.5. Зерносушилка передвижная K4-УС2-А:

1, 2, 5 — вентиляторы; 3 — форсунка; 4 — толка; 6 — ковшовый транспортер; 7 — шахта; 8 — бункер; 9 — шнек поперечный; 10 — вентилятор зоны охладителя; 11 — шнек продольный

топливную и воспламенения топлива, аппаратуру для контроля за пламенем и температурой теплоносителя.

Сушка осуществляется смесью топочных газов и наружного воздуха.

Оборудование для очистки семян. Сепаратор Б6-МСА-1 разработан и изготавливается ПО «Роспродмаш». Он входит в состав выпускаемого комплекта минимаслозавода.

Сепаратор предназначен для очистки семян подсолнечника от примесей, отличающихся размерами и аэродинамическими свойствами, а также отделения металломагнитных примесей.

Сепаратор (рис. V.6) состоит из двух вентиляторов 1, камеры 2, эксцентрикового вала и привода 5, ситового корпуса 3 и набора магнитов 4.

Маслосемена очищаются от примесей в ситовом корпусе, проходя через четыре сита. Последние приводятся в колебательное движение эксцентриковым валом. Примеси, отсасываемые вентилятором, собираются в осадочных камерах. В нижней части сепаратора установлен магнитоуловитель для выделения металломагнитных примесей из выходящих семян. Вентиляторы и эксцентриковый вал имеют общий привод.

Техническая характеристика

Производительность, кг/ч	1000
Установленная мощность, кВт	2,2
Габаритные размеры, мм	1750 × 1325 × 1855
Масса, кг	540

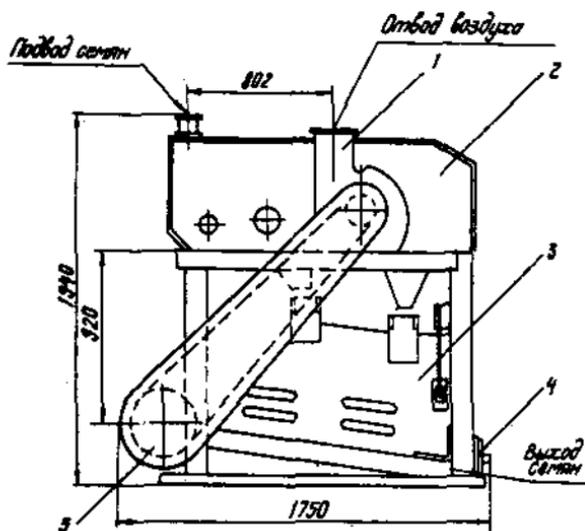


Рис. V.6. Сепаратор Б6-МСА-1

Колонка магнитная ВКМА2.300А предназначена для выделения из подсолнечных семян металломагнитных примесей и входит в состав комплекта минимаслозавода, выпускаемого ПО «Роспродмаш».

Конструкция состоит (рис. V.7) из станины 2, клапана 1, регулирующего устройства и направляющих продукта 3, 4, набора магнитов 5. Набор магнитов выполнен из магнитов, набранных одноименными полю-

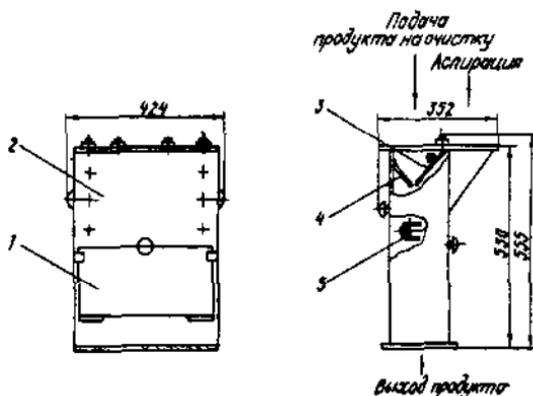


Рис. V.7. Колонка магнитная ВКМА2.300А

Техническая характеристика

Производительность, т/ч	24
Габаритные размеры, мм	424 × 332 × 555
Масса, кг	23

сами в ряд. Клапан подвешен шарнирно. Направляющие продукта жестко прикреплены стенками к станине. В верхней части станины имеются два проема для подвода очищаемого продукта и аспирации, в нижней — проем для выхода продукта. Сырье поступает в приемное устройство, откуда самотеком проходит по экрану в верхней его части, при этом очищаемый продукт просыпается мимо экрана, а металломагнитные примеси притягиваются магнитным полем к экрану.

Оборудование для обрушивания и разделения рушанки. Рушка центробежная 10.07-017.03.00.000 предназначена для обрушивания семян подсолнечника. Рушка (рис. V.8) состоит из

течки, корпуса, ротора, клиноременной передачи, электродвигателя, электрооборудования.

Сырье поступает в течку и подается в ротор. Ротор, вращаясь, отбрасывает семена к периферии корпуса на деку. При ударе семена обрушиваются и выносятся из рушки через лоток корпуса.

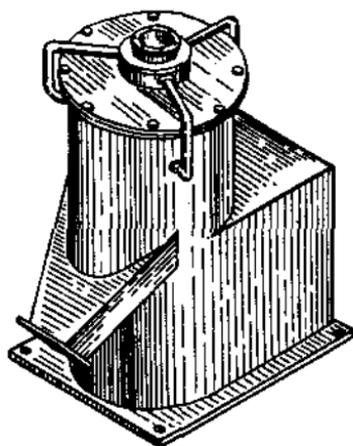


Рис. V.8. Рушка центробежная
10.07-017.03.00.000

Техническая характеристика

Производительность по сырью, кг/ч	200—250
Частота вращения ротора (регулируемая), мин ⁻¹	1293, 1500, 1740
Установленная мощность, кВт	1,1
Габаритные размеры, мм	770 × 480 × 915
Масса, кг	190

Машина рушально-веечная Б6-МРА-1 разработана и изготавливается ПО «Роспродмаш». Входит в комплект выпускаемого миниаслозавода. Машина предназначена для обрушивания семян подсолнечника и отделения лузги от ядер.

Конструкция машины состоит (рис. V.9) из вентилятора, привода, бункера, рушки, ситового кузова. Рабочим органом рушки является бичевой барабан, вращающийся с различной частотой. Привод барабана осуществляется посредством ременной передачи от электродвигателя. Разрушение оболочки маслосемян происходит при их прохождении между барабаном и рифленной поверхностью дек — чугунных пластин, установ-

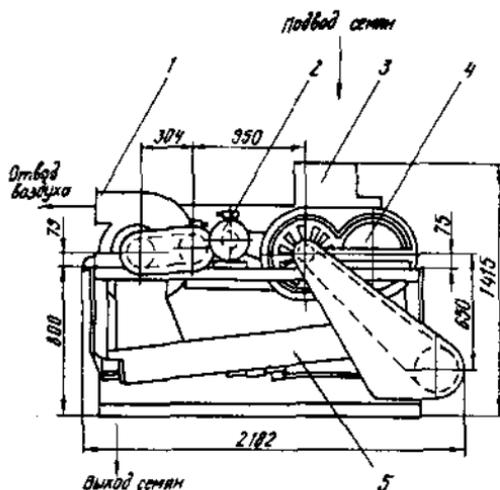


Рис. V.9. Машина рушально-вещная Б6-МРА-1:

ленных между боковинами. Отделение лузги от ядер осуществляется на ситовом кузове, закрепленном на колеблющейся раме четырьмя ремнями. Ситовой кузов, представляющий собой деревянную раму, на которой смонтированы два сита, приводится в движение эксцентриковым валом. Лузга отсасывается вентилятором.

Техническая характеристика

Производительность, кг/ч	1000
Установленная мощность, кВт	3,7
Габаритные размеры, мм	2182 × 1150 × 1415
Масса, кг	700

Оборудование для измельчения ядра. Станок вальцовый В6-МВС разработан и изготавливается ПО «Роспродмаш». Входит в комплект выпускаемого минимаслозавода. Станок предназначен для размола ядер семян подсолнечника.

Конструкция станка состоит (рис. V.10) из питателя, приводов правого и левого, механизма рабочих органов, рамы. Рабочие органы представляют собой валки, установленные в подшипниках и оснащенные са-

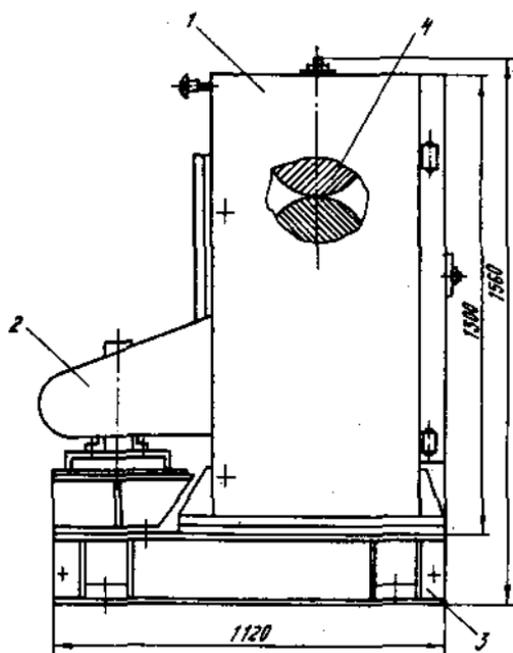


Рис. V.10. Станок вальцовый Б6-МВС:

мостоятельными приводами (правым и левым). Вращение валкам передается при помощи клиновых ремней. Механизм рабочих органов предназначен для измельчения и превращения ядер семян в мятку. Питатель обеспечивает подачу материала сплошным потоком по всей длине питательного валька в зазор между вальками. Налипший продукт снимается с поверхности вальков скребками. Поджим верхнего валька осуществляется с помощью пружинного устройства. Ременные передачи и рабочая зона вальков закрыты ограждениями.

Техническая характеристика

Производительность, кг/ч	800
Установленная мощность, кВт	8
Занимаемая площадь, м ²	1,4
Габаритные размеры, мм	1175 × 1120 × 1560
Масса, кг	1940

Оборудование для влаготепловой обработки (жарения) мятки. Жаровня Е8-МЖА разработана и изготавливается ПО «Роспродмаш». Входит в комплект выпускаемого минимаслозавода. Жаровня предназначена для влаготепловой обработки мятки семян подсолнечника.

Конструкция жаровни состоит (рис. V.11) из привода, цепной передачи, вала-мешалки и чана. Чан закрыт двумя крышками, на одной из которых имеется отверстие для засыпки мятки. Жарение происходит за счет тепла, получаемого в процессе сжигания лузги в печи. Перемешивание мятки осуществляется валом-мешалкой и двумя рыхлителями. Вращение валу-мешалке передается от привода через цепную передачу. В днище чана имеется закрываемый заслонкой люк, через который выходит маслянистая масса. Как правило, в маслоцехе устанавливается четвертая жаровня, предназначенная для выравнивания температуры продукта, поступающего из трех предыдущих жаровен.

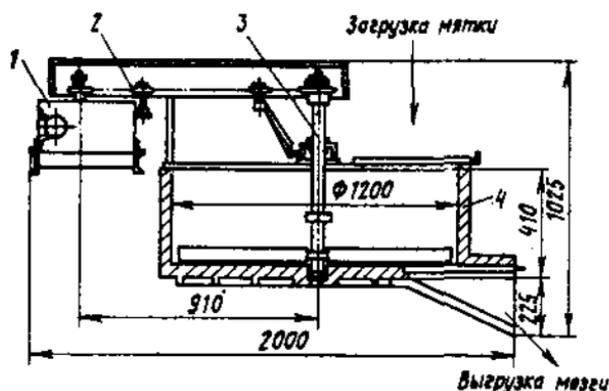


Рис. V.11. Жаровня Е8-МЖА:

1 — привод; 2 — цепная передача; 3 — вал-мешалка; 4 — чан

Оборудование для извлечения масла прессованием (отжимом). Пресс шнековый зерный Е8-МПШ разработан и изготавливается ПО «Роспродмаш». Входит в комплект выпускаемого минимаслозавода. Предназначен для непрерывного отжима масла из семян подсолнечника.

Пресс состоит (рис. V.12) из привода, опорного узла, цилиндра зерного, шнекового вала, питателя. Мезга (жареная мятка) шнеком равномерно подается в зерный цилиндр, разделенный на четыре камеры и состоящий из двух половин, соединенных между собой шпильками. Шнековым валом мезга последовательно перемещается в цилиндре из одной камеры в другую. За счет давления, создаваемого шнековым валом, про-

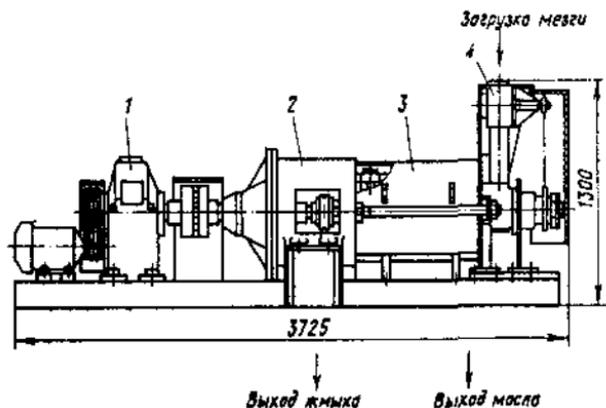


Рис. V.12. Пресс шнековый зерный Е8-МПШ:

1 — привод; 2 — опорный узел; 3 — цилиндр зерный; 4 — питатель

исходит отжим масла из мезги. Масло через зазоры между зерными планками направляется в поддон, откуда самотеком поступает в емкость для масла. Жмых перемешивается из зерного цилиндра в опорный узел. Регулирование толщины выходящего жмыха осуществляется конусным механизмом. Привод шнекового вала состоит из электродвигателя, редуктора и клиноременной передачи. Привод шнека питателя осуществляется от шнекового вала через цепную передачу.

Техническая характеристика

Производительность по мятке, т/сут	10—15
Установленная мощность, кВт	11
Габаритные размеры, мм	3725 × 1125 × 1300
Масса, кг	2920

Главным оборудованием маслозавода, разработанного в АО «Южно-Российский Технопарк» (г. Краснодар) и изготовленного на НПО «Кузробот» (г. Таганрог), является *шнековый пресс-экструдер*. Он объединяет стадии измельчения и отжима. Разработанная конструкция позволила исключить из технологической линии вальцовый станок. Это не только привело к снижению материальных затрат на производство завода, а следовательно, позволило снизить себестоимость, но и, что не менее важно, позволило исключить операцию измельчения на вальцовом станке.

Ниже приведен рисунок и технические характеристики шнекового пресса-экструдера. Особенностью пресса-экструдера (рис. V.13) является то, что это конструкция с одним валом; правая часть вала (см. рис.

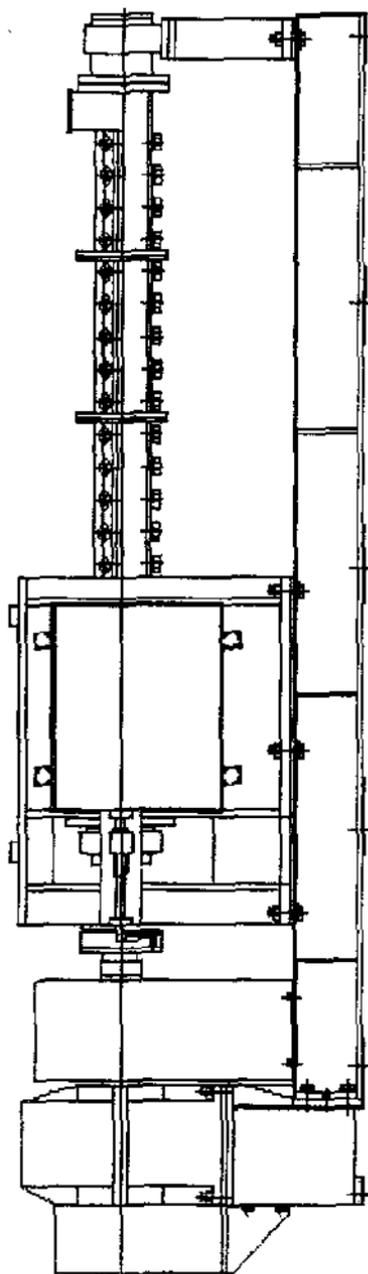


Рис. У.13. Шнековый пресс-экструдер

V.13), начиная от входа продукта, является экструдерной — представляет собой прерывистый шнек с установленными в разрывах неподвижными четырехгранными пальцами, на которых и происходит измельчение и экструдирование масличного материала. Экструдерная часть вала в конце, к выходу переходит в прессующий шнековый вал.

Техническая характеристика

Производительность (по семенам подсолнечника), кг/ч	до 1000
Потребляемая мощность, кВт	30
Число оборотов шнекового вала, об/мин	34
Род тока питающей сети	переменный 3-х фазный
Частота тока, Гц	50
Напряжение, В	380
Выход масла, %	65–70
Габаритные размеры, мм, не более	3700 × 1800 × 1040
Масса, кг, не более	2500

Экструдер-пресс червячный ЭПЧ-75 предназначен для непрерывной обработки необрушенных семян подсолнечника и отжима масла из них по схеме однократного окончательного прессования. Таким образом, используя этот пресс, можно создать микромаслозавод.

Конструкция состоит (рис. V.14) из экструдера-пресса, оснащенного электрообогревом; раздвоителя для передачи вращения двум шнековым валам с одинаковой скоростью; редуктора и электродвигателя. К основным конструктивным особенностям относятся наличие двух валов с размещенными на них насадками специальной формы с контактно-уплот-

Техническая характеристика

Производительность по семенам, кг/ч	120–150
Выход масла, %	31–35
Тип корпуса	Секционный
Число валов	2
Направление вращения	В одну сторону
Частота вращения валов, мин ⁻¹	72
Установленная мощность, кВт	7,5
Установленная мощность системы электрообогрева, кВт	3,3
Диаметр гранул, мм	8–10
Габаритные размеры, мм	2950 × 740 × 1270
Масса (без шкафа электрооборудования), кг	740

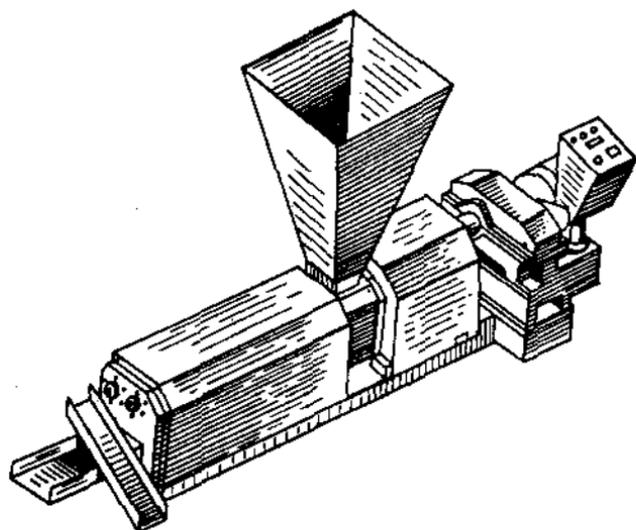


Рис. V.14. Экструдер-пресс червячный ЭПЧ-75

нительным профилем и наличие обогреваемых перфорированных секций. Это обеспечивает интенсивное воздействие на материал за счет совмещения процессов транспортирования, прессования, отжима, перемешивания, измельчения, гранулирования и влаготеплового воздействия.

Оборудование для очистки масла. Фильтр-пресс Е8-МФП (рис. V.15) разработан и изготавливается ПО «Роспродмаш»; входит в комплект вы-

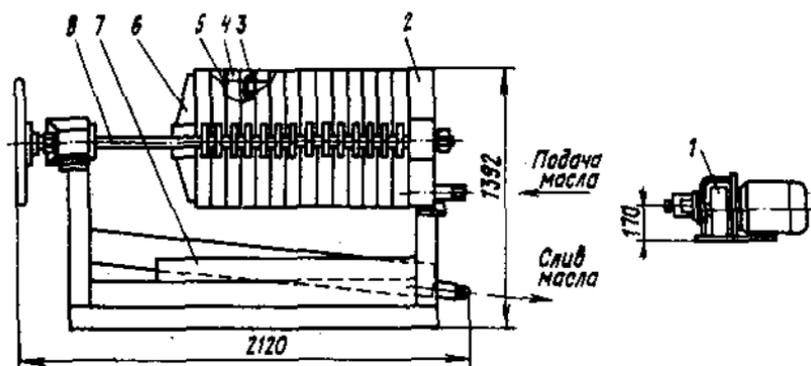


Рис. V.15. Фильтр-пресс Е8-МФП:

- 1 — станция насосная; 2 — секция опорная; 3 — секция; 4 — рамка;
5 — прокладка; 6 — секция нажимная; 7 — рама; 8 — стяжка

пускаемого минимаслозавода. Фильтр-пресс предназначен для непрерывной очистки подсолнечного масла от механических примесей.

Конструкция его состоит (см. рис. V.15) из насосной станции, рамок, набора секций, прокладок, рамы, стяжки. Основные рабочие узлы — фильтр масляный и станция насосная. Фильтр масляный представляет собой набор рамок и секций. Нажимная и опорная секции установлены по торцам набора. Между рамками и секциями проложены фильтрующие прокладки, зажимаемые специальным винтом. Неочищенное масло из емкости подается насосной станцией в масляный фильтр. Масло, проходя под давлением через фильтрующие прокладки, очищается от механических примесей и сливается в лоток.

Техническая характеристика

Установленная мощность, кВт	3
Габаритные размеры, мм	2150 × 940 × 1400
Масса, кг	2400

Контрольные вопросы

1. Каковы причины развития маслозаводов малой мощности?
2. Как классифицируются маслозаводы малой мощности?
3. Какие особенности необходимо учитывать при разработке техники для маслозаводов малой мощности?

ЛИТЕРАТУРА

Белобородов В. В. Основные процессы производства растительных масел. — М.: Пищепромиздат, 1966. — 478 с.

Белобородов В. В. и др. Подготовительные процессы переработки масличных семян. — М.: Пищепромиздат, 1974.

Масликов В. А. Технологическое оборудование производства растительных масел. — М.: Пищевая промышленность, 1974. — 439 с.

Оборудование предприятий масложировой промышленности / Б. Н. Чубинидзе, В. Х. Паронян, А. В. Луговой и др. — М.: Агропромиздат, 1985. — 304 с.

Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров / Редкол. А. Г. Сергеев и др. — Л.: ВНИИЖ, 1975. Т. 1, кн. 1. — 725 с.

Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров / Редкол. А. Г. Сергеев и др. — Л.: ВНИИЖ, 1974. Т. 1, кн. 2. — 591 с.

Технология производства растительных масел / В. М. Копейковский, С. И. Данильчук, Г. И. Гарбузова и др. / Под ред. В. М. Копейковского. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. — 416 с.

Учебное издание

Кошевой Евгений Пантелеевич

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ
ПРОИЗВОДСТВА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ**

Главный редактор *Рубинов А. З.*

Технический редактор *Игнашов Д. А.*

Компьютерная верстка *Липатов А. В.*

Корректор *Ферапонтов А. А.*

Лицензия ЛР № 064824 от 11.11.96. Подписано к печ. 10.08.01.
Формат бум. 60×88 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Гарнитура Ньютон. Печ. л. 23. Доп. тираж 500. Заказ 487
ЗАО ГИОРД. 193167, Санкт-Петербург, а/я 61. Тел. (812) 327-92-20.

Отпечатано с готовых диапозитивов в Академической типографии
«Наука» РАН, 190034, г. Санкт-Петербург, 9 линия, д. 12