

ББК 36.87

К17

УДК 663.15.02

Рецензенты: кафедра микробиологических и витаминных производств Киевского технологического института пищевой промышленности (канд. биол. наук, доцент Т. П. Слюсаренко), канд. техн. наук Ю. А. Белогорцев (ВНИИбиотехника)

Калунянц К. А. и др.

К17 Оборудование микробиологических производств/Калунянц К. А., Голгер Л. И., Еглагов В. Е.—М.: Агропромиздат, 1987.—398 с.: ил.—(Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).

Приведено описание устройств современных видов оборудования, применяемых в микробиологической промышленности. Рассмотрены вопросы работы аппаратуры на всех этапах производства: стерилизации сред и воздуха, культивирования культур на твердых и в жидких средах, выделения биомассы и целевого продукта, очистки воздуха, получения готовых препаратов и др. Для основных видов оборудования приведены методики их расчета.

Для студентов вузов, готовящих специалистов для пищевой и микробиологической промышленности.

К 2910000000—090 389—86
035(01)—87

ББК 36.87

ВВЕДЕНИЕ

Микробиологическая промышленность — одна из самых молодых отраслей промышленности в нашей стране. Получение биологически активных веществ способом микробного синтеза в настоящее время переведено на крупнотоннажное производство.

Одной из основных предпосылок создания крупнотоннажного микробиологического производства стало стремительное увеличение применения биологически активных веществ микробного происхождения, которые вытесняют вещества животного и растительного происхождения, а также продукты химического синтеза. Получение большого количества массы микроорганизмов, являющихся источником для выделения какого-либо биологически активного вещества, значительно проще и экономичнее, чем производство биологически активных веществ на основе животного или растительного сырья.

Организация рентабельного промышленного производства различных биологически активных веществ микробного происхождения возможна лишь при использовании активных штаммов продуцентов. С помощью геной инженерии разработаны методы конструирования штаммов бактерий и дрожжей с чужими генами и с заранее заданными, прежде несвойственными им наследственными качествами.

Микробная клетка вырабатывает необычайно широкий комплекс метаболитов — биологически активных веществ, используя для питания разнообразные отходы пищевых, сельскохозяйственных и химических производств, содержащие белки, полисахариды, углеводороды, а также спирты, кислоты, азотистые соединения и т. д. Исключительная способность микроорганизмов адаптироваться к новым источникам питания и изменениям условий культивирования позволяет использовать новые дешевые материалы и отходы для приготовления питательных сред.

Таким образом, многообразие путей возможного воздействия на микроорганизмы, их приспособляемость к различным условиям обмена веществ, количественная неограниченность получения микробной биомассы, доступность и дешевое сырье, скорость производства, возможность получения практически любого необходимого продукта — все эти факторы обуславливают исключительное преимущество продуктов микробного синтеза по сравнению с продуктами растительного и животного происхождения или получаемыми с помощью химического синтеза.

Технический прогресс, достигнутый в СССР и за рубежом, позволил значительно усовершенствовать процессы и аппараты микробиологического синтеза различных продуктов, создать новые, высокоэффективные виды оборудования и технологические линии для производства биологически активных веществ. Намечены меры по техническому перевооружению действующих заводов, разработке и внедрению новых видов оборудования и эффективных технологий, экономному потреблению сырьевых и топливно-энергетических ресурсов. Большое внимание уделяется созданию безотходной технологии, разработке и внедрению непрерывных процессов, организации производства новых ферментных препаратов, средств защиты растений, ветеринарных и медицинских препаратов.

Практически все биологически активные вещества, полученные микробным синтезом, в промышленном масштабе производят по похожим технологическим схемам.

Существование каждой технологии сводится к выращиванию выбранного микроорганизма с целью биосинтеза требуемого продукта и дальнейшему выделению из полученной культуры, концентрированию и очистке этого продукта.

Глава 2. МАШИННО-АППАРАТУРНЫЕ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Технологические схемы микробиологических производств включают большое количество операций. Из них можно выделить важнейшие, в процессе которых происходит существенное изменение сырья или промежуточных продуктов производства. Совокупность машин и аппаратов, применяемых для осуществления основной или вспомогательных операций, называют машинно-аппаратурной системой.

Ниже приводятся схемы получения важнейших продуктов микробного синтеза.

2.1. ПРОИЗВОДСТВО КОНЦЕНТРАТА ВИТАМИНА B_{12}

Технологическая операция	Основное оборудование (рис. 2.1)
Подача ацетоно-бутиловой барды из сборника барды в декантатор. Охлаждение декантата путем его прокачивания через холодильник	Декантатор 2, холодильник 5
Подача охлажденного до 55—57 °С декантата барды в ферментатор. Анаэробное метановое непрерывное брожение	Железобетонные ферментаторы 8 емкостью 4200 м ³
Стабилизация витамина B_{12} при тепловой обработке путем смешивания с сульфитом натрия и соляной кислотой	Реактор-смеситель 12
Подогрев стабилизированной метановой бражки перед концентрированием	Подогреватели 15
Концентрирование метановой бражки	Вакуум-выпарная установка 16
Подогрев концентрата метановой бражки перед сушкой	Подогреватели 21
Сушка концентрата	Распылительная сушилка 22
Удаление продукта и отработавшего воздуха	Система пневмотранспорта, циклоны 23, скруббер 26

2.2. ПРОИЗВОДСТВО БЕЛКОВО-ВИТАМИННЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Белково-витаминные концентраты (БВК) получают при применении в качестве основного сырья жидких гидролизатов растительных материалов, сульфитных щелоков, отходов пищевой промышленности, очищенных парафинов, газообразных углеводов.

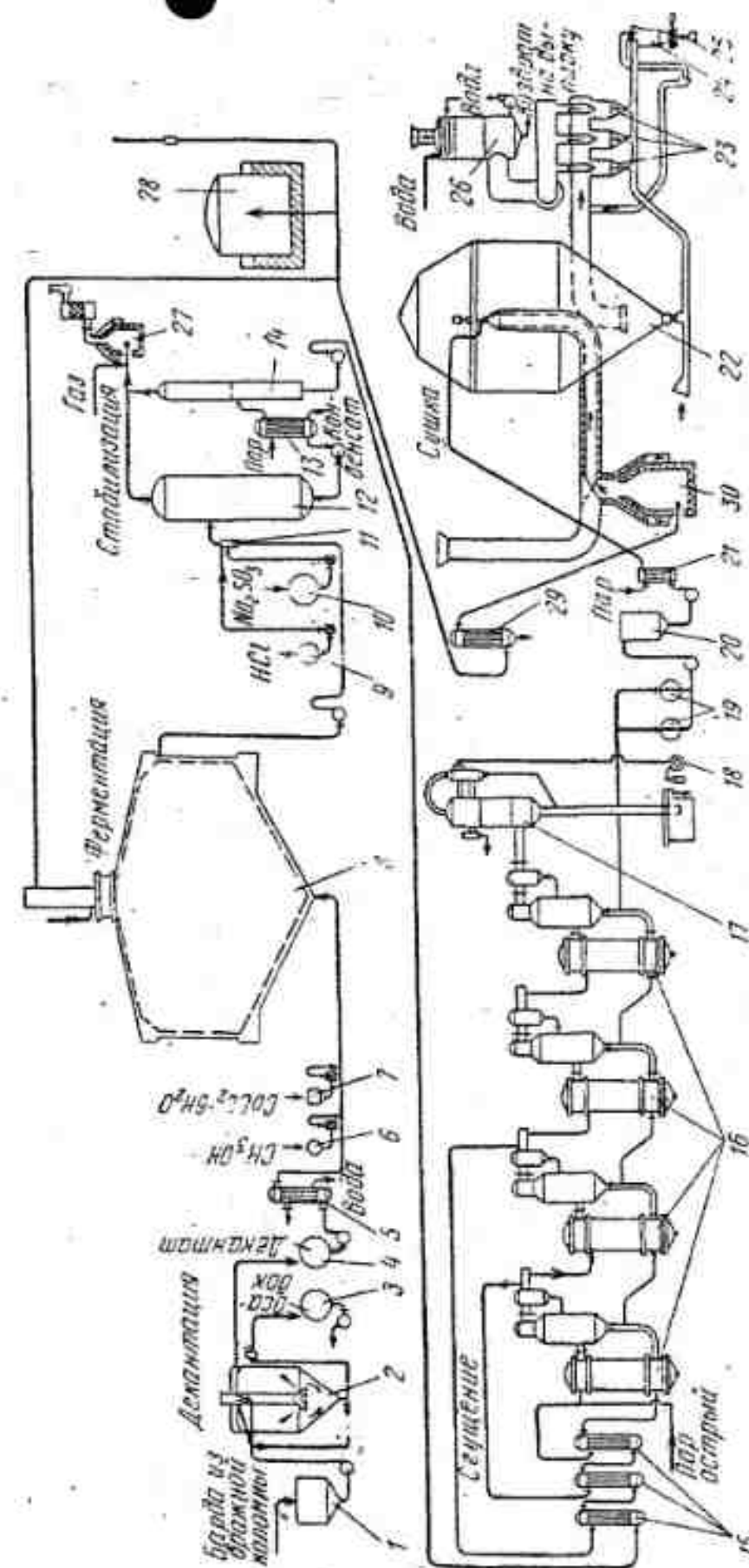


Рис. 2.1. Схема получения концентрата витамина B_{12} .

1 — сборник барды; 2 — декантатор барды; 3 — сборник стуженой барды; 4 — сборник декантата барды; 5 — холодильник для охлаждения декантата; 6 — мерник метанола; 7 — мерник раствора хлористого цинка; 8 — ферментатор для метанового брожения; 9 — мерник соляной кислоты; 10 — мерник раствора сульфита натрия; 11 — смеситель метановой бражки; 12 — реактор для стабилизации витамина B_{12} ; 13 — подогреватель метановой бражки; 14 — сепаратор газа; 15 — подогреватель метановой бражки; 16 — вакуум-выпарная установка; 17 — сборник стуженой метановой бражки; 18 — вакуум-насос; 19 — сборник стуженой метановой бражки; 20 — промежуточный сборник стуженой метановой бражки; 21 — подогреватель стуженой метановой бражки; 22 — распылительная сушилка с центробежным распылением; 23 — циклоны для очистки дымовых газов; 24 — бункер сухого концентрата; 25 — установка для фазового витамина в масле; 26 — скруббер для очистки дымовых газов; 27 — установка для катализаторного сжигания газов; 28 — холодильник для отделения воды из газа при брожении; 29 — газодельтер для газов брожения; 30 — холодильник для охлаждения газа.

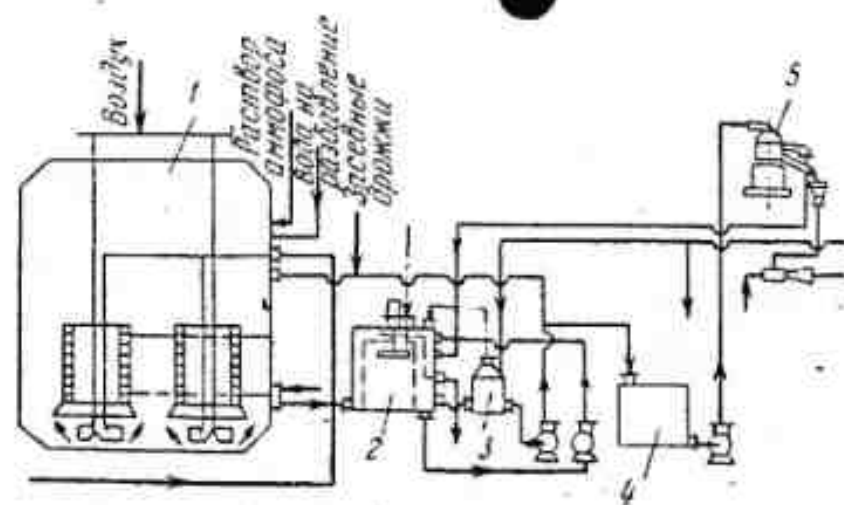
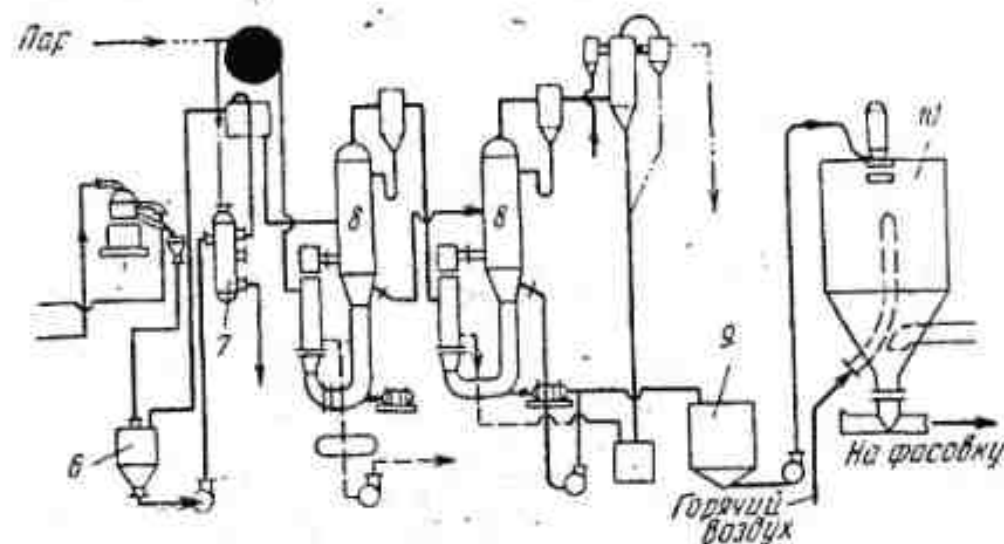


Рис. 2.2. Схема получения БВК при выращивании дрожжей
1 — дрожжерастильный аппарат; 2 — двухступенчатый флотатор; 3 —
ступени; 4 — сборник дрожжевой суспензии; 7 — плазмоллизатор-
ная установка; 9 — сборник дрожжевого

2.2.1. Производство кормовых дрожжей на жидких гидролизатах растительных материалов и сульфитных щелоках

Технологическая операция	Основное оборудование	
Подготовка жидких гидролизатов растительных материалов		
Нейтрализация кислого гидролизата после инверсии известкового молока	Нейтрализатор	
Смешивание гидролизата с гипсовым осадком и аммиачной водой (при непрерывном перемешивании)	Нейтрализатор-выдерживатель	
Осветление гидролизата	Отстойник	
Выделение части воды (5—7 %) и некоторых летучих веществ (фурфурол, оксиметилфурфурол и др.)	Вакуум-охлаждательная установка	
Отделение шлама	Фильтр-пресс	
Аэрация	Аэратор	
Охлаждение до 28—30 °С	Теплообменник	
Подготовка сульфитных щелоков		
Инверсия олигосахаридов	Инвертор	
Отделение волокон целлюлозы	Фильтр	
Десульфитация	Аэратор	
Обогащение питательными солями	Реактор	
Выращивание дрожжей (рис. 2.2)		
Приготовление посевного материала	Инокулятор	
Введение питательных солей	Дрожжерастильный аппарат 1	аппа-
Производственное выращивание дрожжей	Дрожжерастильные аппараты	аппа-
Концентрирование дрожжевой бражки	Двухступенчатый флотатор 2	флота-



на гидролизатах растительных отходов и сульфитных щелоках:
газотделитель; 4 — сборник дрожжевой суспензии; 5 — сепаратор первой
подогреватель непрерывного действия; 8 — двухкорпусная вакуум-выпар-
концентрата; 10 — распылительная сушилка

Технологическая операция	Основное оборудование
Сепарация	Сепаратор первой ступени 5
Повторное концентрирование дрожжей	Флотатор второй ступени
Повторная сепарация	Сепаратор второй ступени
Плазмоллиз сгущенной дрожжевой суспензии	Плазмоллизатор-подогрева- тель 7
Концентрирование суспензии	Вакуум-выпарная установка 8
Сушка концентрата	Распылительная сушилка 10

2.2.2. Производство кормовых дрожжей на отходах пищевой промышленности

В качестве сырья использован отход сахарного производства —
мелассная барда.

Технологическая операция	Основное оборудование (рис. 2.3)
Приготовление раствора питательных солей	Декантатор 7
Приготовление пеногасителя	Эмульгатор 5
Стерилизация барды	Фильтр 38, пластинчатый теп- лообменник 37, сборник-стери- лизатор 8
Смешивание охлажденной барды с растворами солей	Смеситель 10
Получение чистой культуры дрожжей	Аппараты чистой культуры 39, 40
Получение засевной культуры дрожжей	Малая дрожжанка 41, большая дрожжанка 42, дрожжегенера- тор 15
Производственная ферментация (первая стадия)	Первый дрожжерастильный аппарат 14, пеноотделитель 18, механическое пеногасящее уст- ройство
Сепарирование дрожжевой суспензии	Фильтр 35, сепараторы первой ступени 34

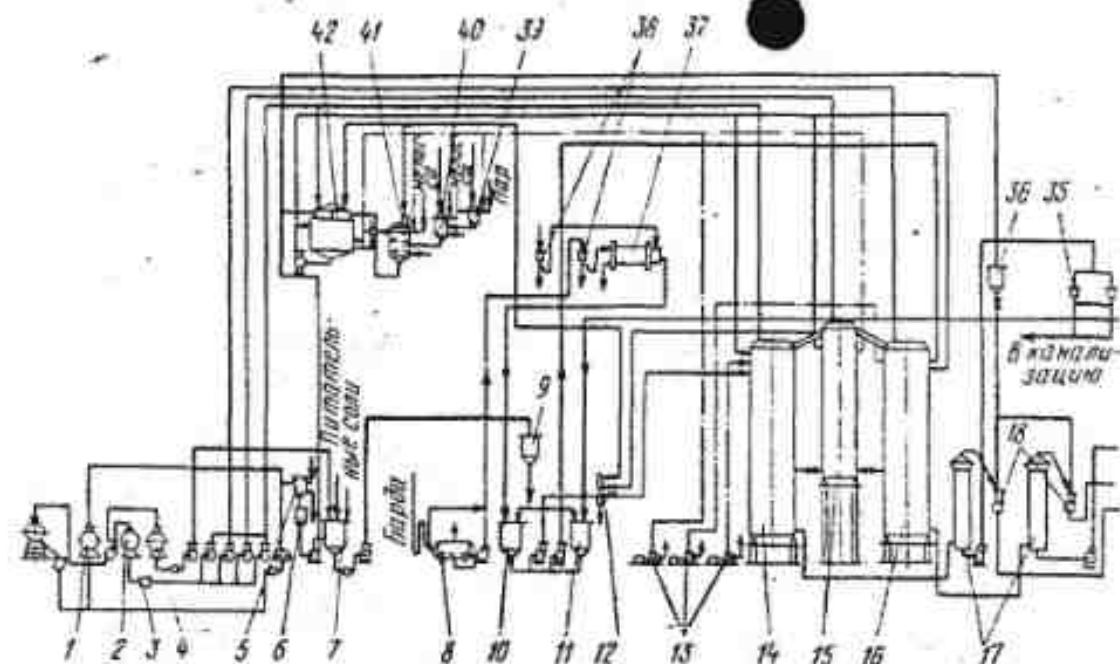


Рис. 2.3. Схема получения кормовых дрожжей

1 — сборник пеногасителя; 2, 4 — сборники кислот; 3 — ловушка; 5 — эмульгатор; питательных солей; 10, 11 — смесители; 12 — коллектор; 13 — воздухоподогреватель; 14, 16 — теплообменники; 15 — выпарная установка; 17 — пеноотделитель; 18 — сборники отсепарированной дрожжевой суспензии; 19 — циклонов-отделителей; 20 — дымосос; 21 — весы; 22 — бункер-накопитель; 23 — циклонов-разгрузчик; 24 — вентилятор; 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 — теплообменники; 35 — дозатор пеногасителя; 36 — пластинчатый теплообменник; 37 — дозатор дрожжей

Технологическая операция

Возврат культуральной жидкости после сепараторов первой ступени с добавлением раствора питательных солей
Сепарирование на второй ступени сепараторов
Плазмолиз дрожжей
Производственная ферментация (вторая стадия)

Выделение дрожжей из бражки

Концентрирование дрожжевой суспензии и плазмолиз дрожжей
Сушка плазмоллизированных дрожжей

Фасование дрожжей

Основное оборудование (рис. 2.3)

Смеситель 11

Сепараторы второй ступени 33

Плазмоллизатор 20

Второй дрожжерастильный аппарат 16, пеноотделитель, механический пеногаситель 18

Сепараторы второй ступени 33, 34

Выпарная установка, плазмоллизатор 20

Распылительная сушилка 22, циклоны-отделители 27, бункер 26

Автоматические весы 25, фасовочный аппарат

2.2.3. Производство кормовых дрожжей на очищенных парафинах

Технологическая операция

Подача сырья (жидких парафинов), посевного материала, раствора питательных солей, отработанной культуральной жидкости
Производственное выращивание
Деkantация готовой культуральной жидкости

Основное оборудование (рис. 2.4)

Приемный резервуар 1, ферментатор 2

Ферментатор 2

Деkantатор 3

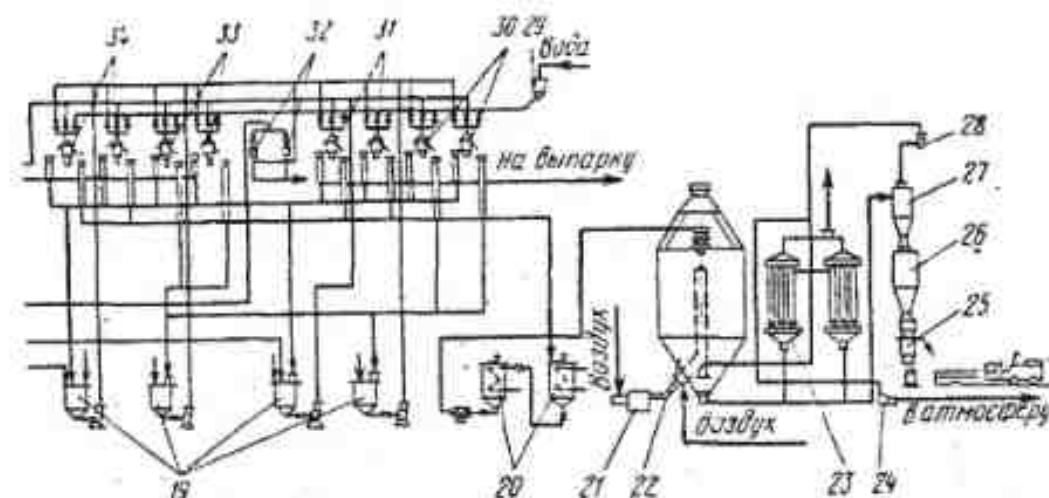


Рис. 2.4. Схема получения кормовых дрожжей на мелассной барде

6 — стерилизатор; 7 — деkantатор с мешалкой; 8 — стерилизатор; 9 — дозатор раствора дрожжерастильных аппаратов; 15 — дрожжегенератор; 17 — пеногасительное устройство; плазмоллизатор; 21 — теплогенератор; 22 — распылительная сушилка; 23 — групповый-разгрузчик; 28 — вентилятор; 29, 32, 35, 38 — водяные фильтры; 30, 31 и 33, 34 — теплообменники; 39, 40 — аппараты чистой культуры; 41 — малая дрожжанка; 42 — большая дрожжанка

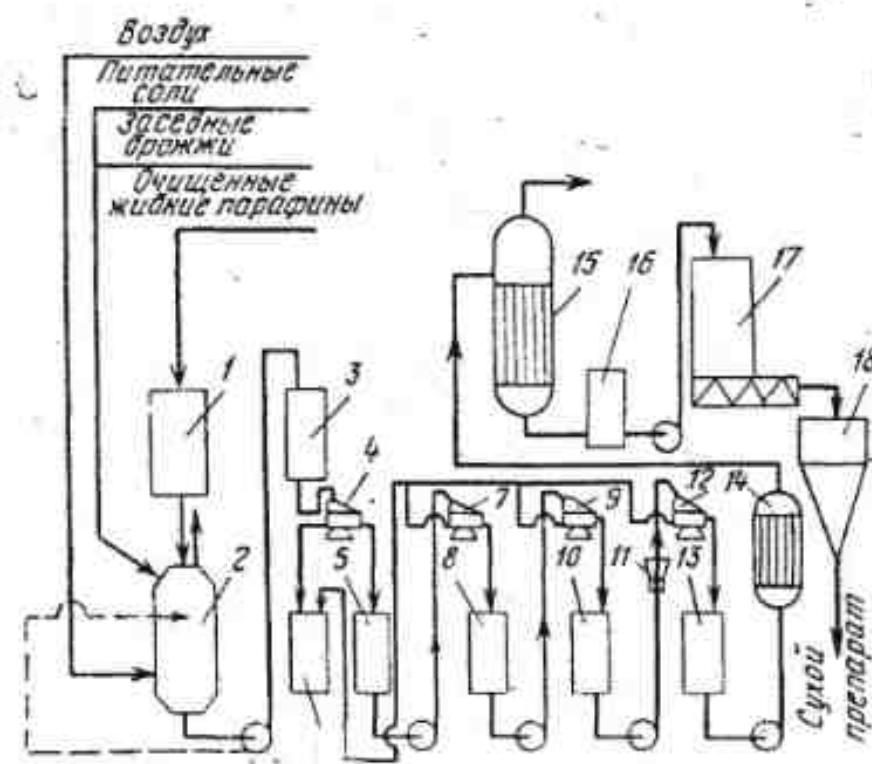


Рис. 2.4. Схема получения кормовых дрожжей на жидких очищенных парафинах

1 — приемный резервуар; 2 — ферментатор; 3 — деkantатор; 4, 7, 9, 12 — сепараторы; 5, 6, 8, 10, 13 — сборники дрожжевой суспензии; 6 — сборник отработанной культуральной жидкости и промывных вод; 11 — эжектор; 14 — теплообменник; 15 — выпарная установка; 16 — сборник концентрата дрожжей; 17 — распылительная сушилка; 18 — сборник сухих кормовых дрожжей

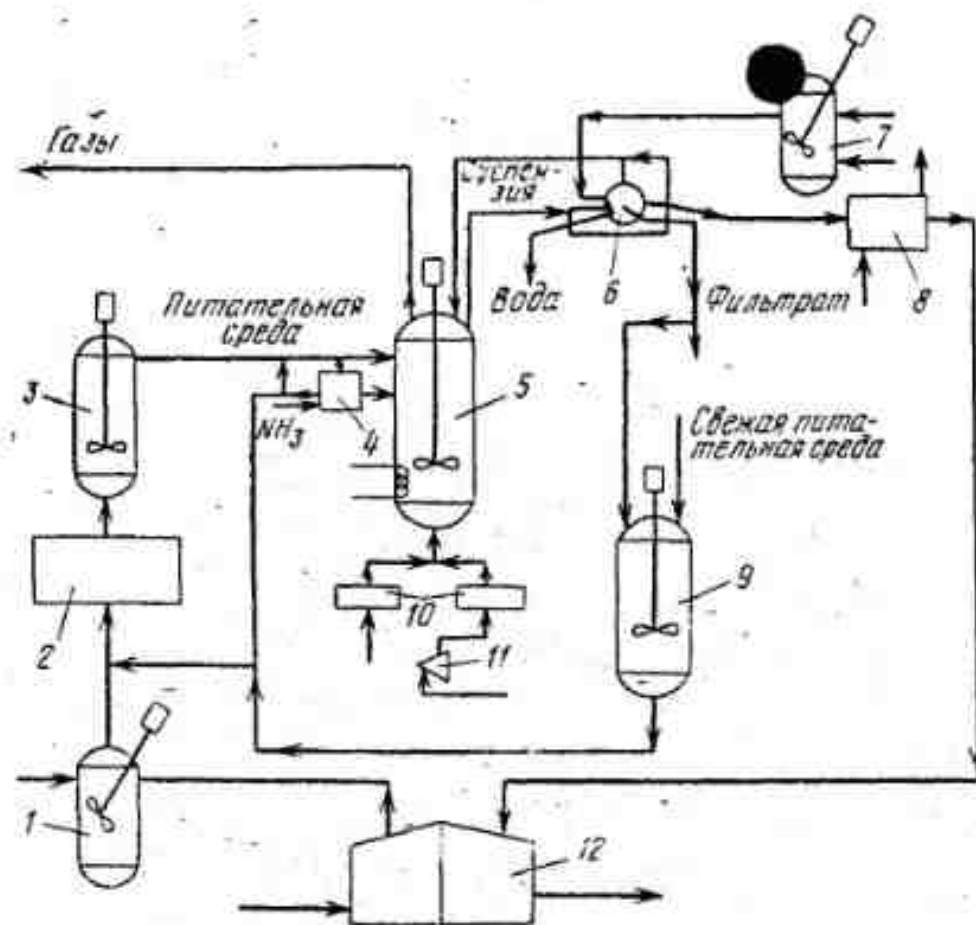


Рис. 2.5. Схема получения белковых препаратов на метане:

1 — смеситель для приготовления питательной среды; 2 — стерилизатор питательной среды; 3 — резервуар для хранения питательной среды; 4 — резервуар для хранения аммиака; 5 — ферментатор; 6 — фильтр; 7 — резервуар для промывки воды; 8 — сушилка; 9 — смеситель; 10 — фильтр; 11 — компрессор; 12 — склад сырья и готовой продукции

Технологическая операция

Сепарирование

Концентрирование
Сушка
Фасование дрожжей

Основное оборудование (рис. 2.4)

Сепараторы первой 4, второй 7, третьей 9 и четвертой 12 ступеней
Выпарная установка 15
Распылительная сушилка 17
Фасовочный аппарат

2.2.4. Производство кормовых дрожжей на газообразных углеводородах

Технологическая операция

Подача свежего газообразного углеводорода либо регенерированной газовой смеси, раствора питательных солей
Стерилизация питательной среды
Культивирование
Концентрирование
Сушка концентрата
Фасование

Основное оборудование (рис. 2.5)

Смеситель
Стерилизатор
Ферментатор
Выпарной аппарат
Распылительная сушилка
Фасовочный аппарат

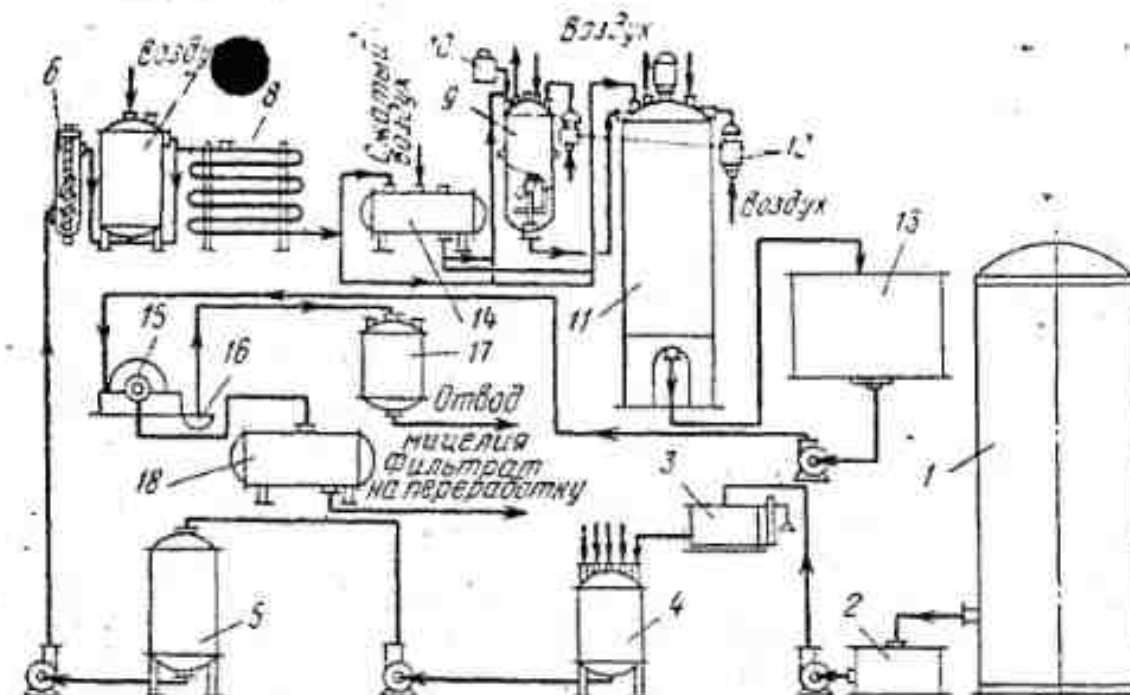


Рис. 2.6. Схема получения лимонной кислоты при глубинном сбраживании мелассных растворов:

1 — резервуар для хранения мелассы; 2 — приемный бак мелассы; 3 — весы; 4 — варочный аппарат; 5 — промежуточный сборник питательной среды; 6 — стерилизационная колонна; 7 — выдерживатель; 8 — теплообменник; 9 — посевной аппарат; 10 — инкулятор; 11 — производственный ферментатор; 12 — противобактериальный фильтр; 13 — сборник сброженного раствора; 14 — монтажка; 15 — вакуум-фильтр для отделения и промывки мицеллы горячей водой; 16 — сборник промытого мицеллы; 17 — вакуум-сборник мицеллы; 18 — сборник фильтрата, направляемого для выделения лимонной кислоты

2.3. ПРОИЗВОДСТВО ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ

Технологическая операция

Подготовка мелассной питательной среды для посевной культуры
Стерилизация среды

Выращивание посевной культуры (непрерывная аэрация и перемешивание)
Подготовка и стерилизация среды для производственной культуры
Культивирование продуцента лимонной кислоты
Фильтрация и промывка мицеллы

Основное оборудование (рис. 2.6)

Варочный аппарат 4
Нагревательная колонна 6, выдерживатель 7, охлаждающий теплообменник 8
Посевной аппарат 10
Варочный аппарат, установка стерилизации
Производственный ферментатор 11
Вакуум-фильтр 15, вакуум-сборник 17

Выделение лимонной кислоты производят из полученного фильтрата (рис. 2.7).

Осаждение лимонной кислоты известью
Отделение осадка лимонной кислоты
Перевод лимонной кислоты в свободное состояние, добавление активного угля, серной кислоты

Нейтрализатор 3
Нутч-фильтр 4
Реактор 5

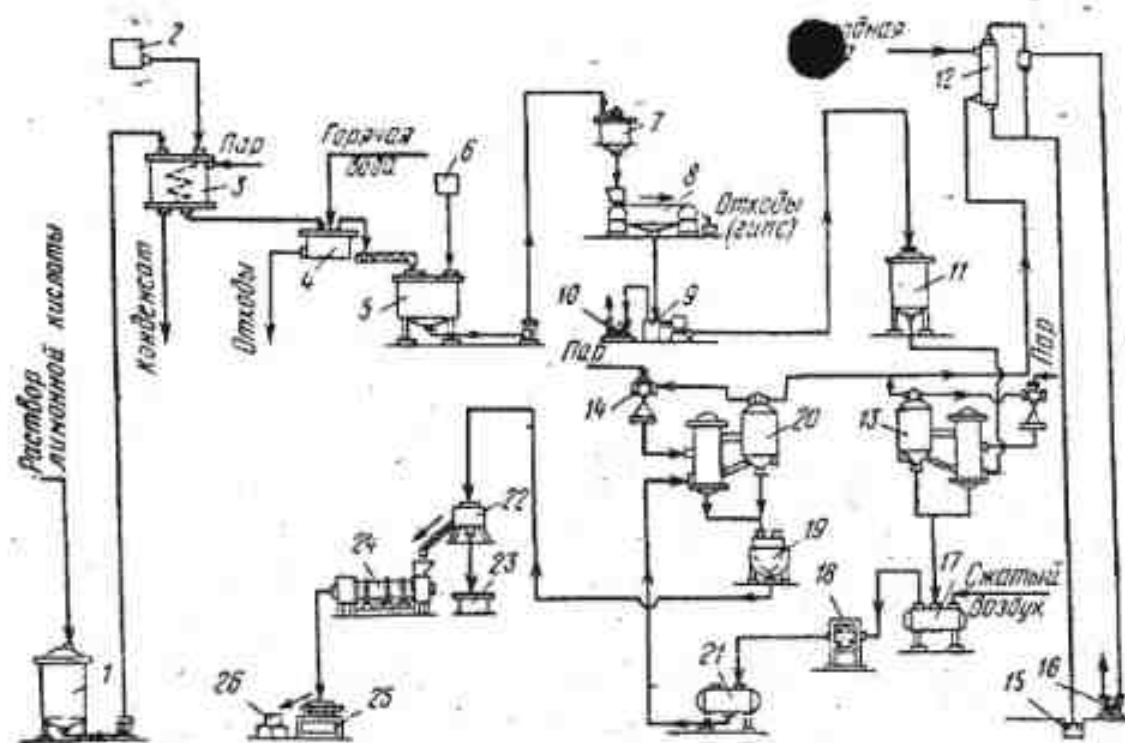


Рис. 2.7. Схема выделения лимонной кислоты из сброженного раствора:
1 — сборник раствора лимонной кислоты; 2 — сборник известкового или мелового молока; 3 — нейтрализатор; 4 — нутч-фильтр для отделения осадка; 5 — реактор для отделения лимонной кислоты от осадка; 6 — сборник активного угля; 7 — промежуточный сборник; 8 — ленточный вакуум-фильтр; 9 — вакуум-сборник; 10, 15 — вакуум-насосы; 11 — сборник раствора лимонной кислоты; 12 — барометрический конденсатор выпарной установки первой упарки; 13, 20 — вакуум-выпарные аппараты первичного и вторичного упаривания раствора; 14 — пароструйные компрессоры выпарных аппаратов; 15 — барометрический ящик; 17 — монтежю; 18 — фильтр-пресс для дополнительного освобождения раствора от осадка гипса; 19 — кристаллизатор; 21 — промежуточный сборник; 22 — центрифуга; 23 — сборник маточного раствора; 24 — барабанная сушилка; 25 — трясосито; 26 — фасовочный автомат

Технологическая операция

Отделение лимонной кислоты от осадка
Концентрирование раствора лимонной кислоты
Дополнительное отделение от раствора лимонной кислоты остатков гипса
Вторая стадия концентрирования раствора лимонной кислоты
Кристаллизация лимонной кислоты при непрерывном перемешивании и охлаждении
Сепарирование кристаллов лимонной кислоты
Сушка кристаллов лимонной кислоты
Фасовка лимонной кислоты

Основное оборудование (рис. 2.7)

Ленточный вакуум-фильтр 8
Вакуум-выпарной аппарат первой упарки 13
Монтежю 17, фильтр-пресс 18
Вакуум-выпарной аппарат 20
Кристаллизатор 19
Центрифуга 22
Барабанная сушилка 24
Трясосито 25, фасовочный автомат 26

2.4. ПРОИЗВОДСТВО ЛИЗИНА НА СВЕКЛОВИЧНОЙ МЕЛАССЕ

Технологическая операция

Подготовка мелассы и раствора питательных солей
Последовательная стерилизация компонентов питательной среды

Основное оборудование (рис. 2.8)

Смесители 1 и 2
Нагревательная колонна 3, выдерживатель 4, охлаждающий теплообменник 5

Технологическая операция
Приготовление посевного материала
Ферментация производственной культуры
Стабилизация лизина культуральной жидкости путем образования монохлоргидрата лизина
Концентрирование культуральной жидкости

Основное оборудование (рис. 2.8)

Иноккуляторы 8 и 9
Ферментатор 6
Реактор 10
Подогреватель 14, двухкорпусная выпарная установка 15

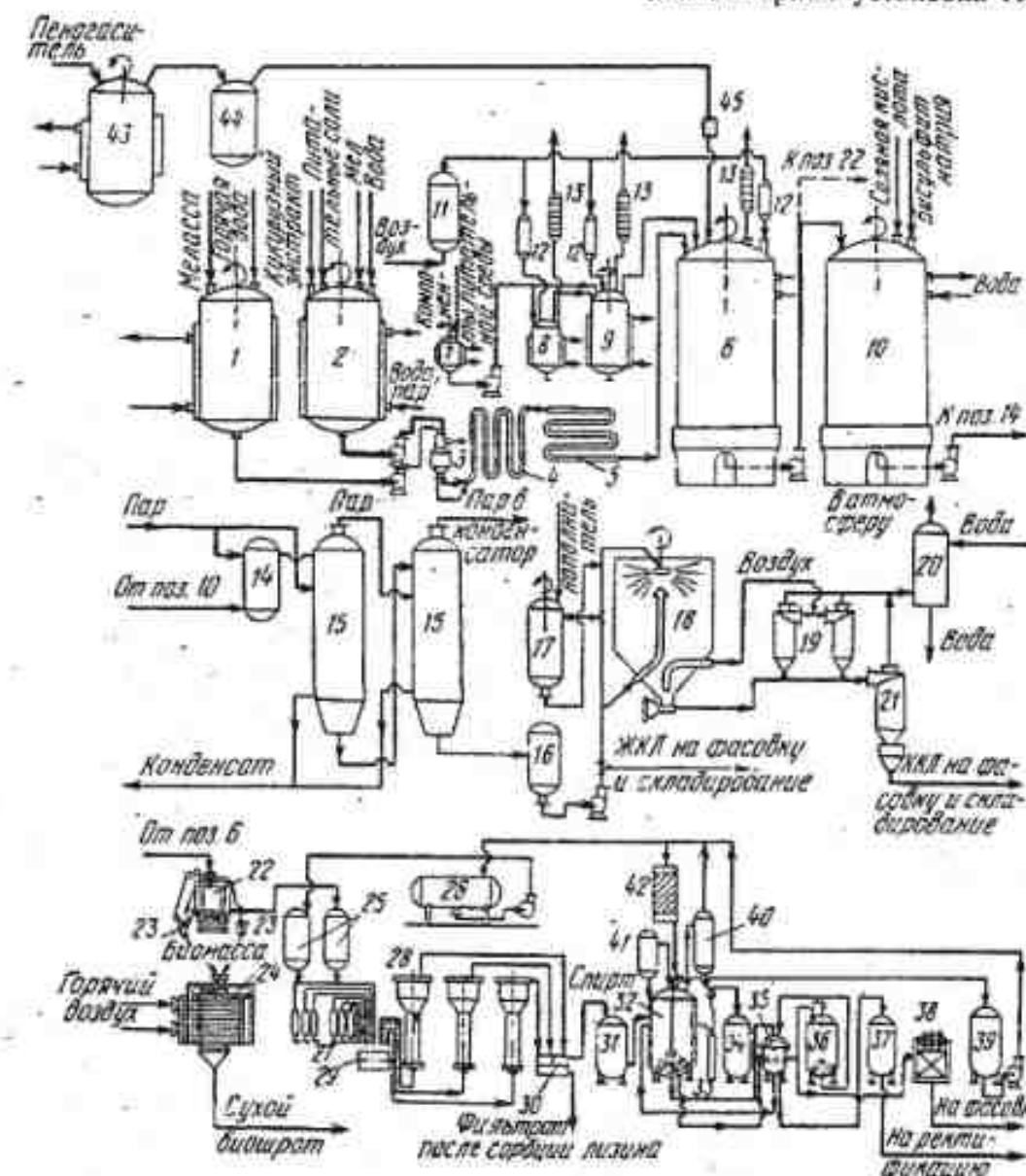


Рис. 2.8. Схема получения лизина на свекловичной мелассе:

1, 2 — смесители для приготовления мелассы и питательных солей; 3 — нагревательная колонна; 4 — выдерживатель; 5 — охлаждающий теплообменник; 6 — ферментатор; 7 — стабилизатор среды для посевных аппаратов; 8, 9 — малый и большой инокуляторы; 10 — стабилизатор; 11 — головной фильтр; 12 — индивидуальный фильтр для очистки воздуха; 13 — воздушный фильтр для очистки отработанного воздуха; 14 — теплообменник для предварительного подогрева культуральной жидкости; 15 — двухкорпусная выпарная установка; 16 — сборник жидкого концентрата лизина; 17 — смеситель; 18 — распылительная сушилка; 19 — циклон-отделитель; 20 — скруббер; 21 — циклон-разгрузчик; 22 — фильтрационная установка или центрифуга; 23 — сборник влажного осадка; 24 — барабанная сушилка; 25 — сборник фильтрата; 26 — цистерна для аммиака; 27 — ротаметры; 28 — ионообменные колонны для сорбции лизина на ионитах; 29 — смеситель очищенного фильтрата и аммиака; 30 — сборник отработанного фильтрата; 31 — сборник элюата; 32 — выпарной аппарат; 33 — баллон сжатого азота; 34 — сборник конденсата; 35 — нутч-фильтр; 36 — кристаллизатор; 37 — сборник спирта перед регенерацией; 38 — циркуляционная сушилка; 39 — сборник аммиака; 40 — холодильник для охлаждения паров аммиака; 41 — мерник соляной кислоты; 42 — мерник пенигасителя; 43 — сборник пенигасителя; 44 — промежуточный сборник пенигасителя; 45 — дозатор пенигасителя

Из выпарной установки получают готовый продукт — жидкий концентрат лизина (ЖКЛ).

Введение наполнителей
Сушка ЖКЛ
Фасование

Смеситель 17
Распылительная сушилка 18
Фасовочный аппарат, циклон-разгрузитель 21

Кристаллический препарат лизина получают из фильтрата культуральной жидкости без ее стабилизации.

Отделение от культуральной жидкости нерастворимых частиц и биомассы
Сушка отделенной биомассы
Сорбция лизина на ионообменных смолах и элюция со смолы раствором аммиака
Концентрирование элюата
Охлаждение концентрата и образование кристаллов монохлоргидрата лизина
Отделение кристаллов от жидкости
Сушка кристаллов
Фасование кристаллического кормового препарата лизина

Фильтрационная установка 22 или центрифуга
Барабанная сушилка 24
Ротаметры 27, ионообменные колонны 28
Выпарной аппарат 32
Вакуум-аппарат

Нутч-фильтр 35
Циркуляционная сушилка 38
Фасовочный аппарат

Для получения кристаллического препарата лизина для пищевой промышленности требуется дополнительная очистка.

Повторная очистка кристаллов [растворение деионизированной водой (70 °C) и обработка активным углем]
Отделение раствора от осадка
Концентрирование раствора
Обработка концентрата этиловым спиртом
Отделение кристаллов от спирта
Сушка
Фасование

Кристаллизатор 36

Нутч-фильтр 35
Вакуум-выпарной аппарат
Реактор
Нутч-фильтр
Циркуляционная сушилка 38
Фасовочный аппарат

2.5. ПРОИЗВОДСТВО КОРМОВОГО ПРЕПАРАТА БИОВИТА

Технологическая операция

Подготовка питательной среды
Стерилизация среды

Приготовление питательной среды для посевного материала и ее стерилизации
Выращивание посевного материала
Выращивание производственной культуры

I вариант

Сушка культуральной жидкости

II вариант

Обработка культуральной жидкости 30 % -ным раствором концентрированной соды
Отделение осадка хлортетрациклина и мицелиальной массы от раствора
Сушка осадка и биомассы
Фасование

Основное оборудование (рис. 2.9)

Смеситель 1
Греющая колонна 5, выдерживатель 6, теплообменник 7
Смеситель 8

Посевной аппарат 9
Ферментатор 10

Распылительная сушилка

Реактор 13

Фильтр-пресс ФПАКМ 15

Сушилка 19
Фасовочный аппарат

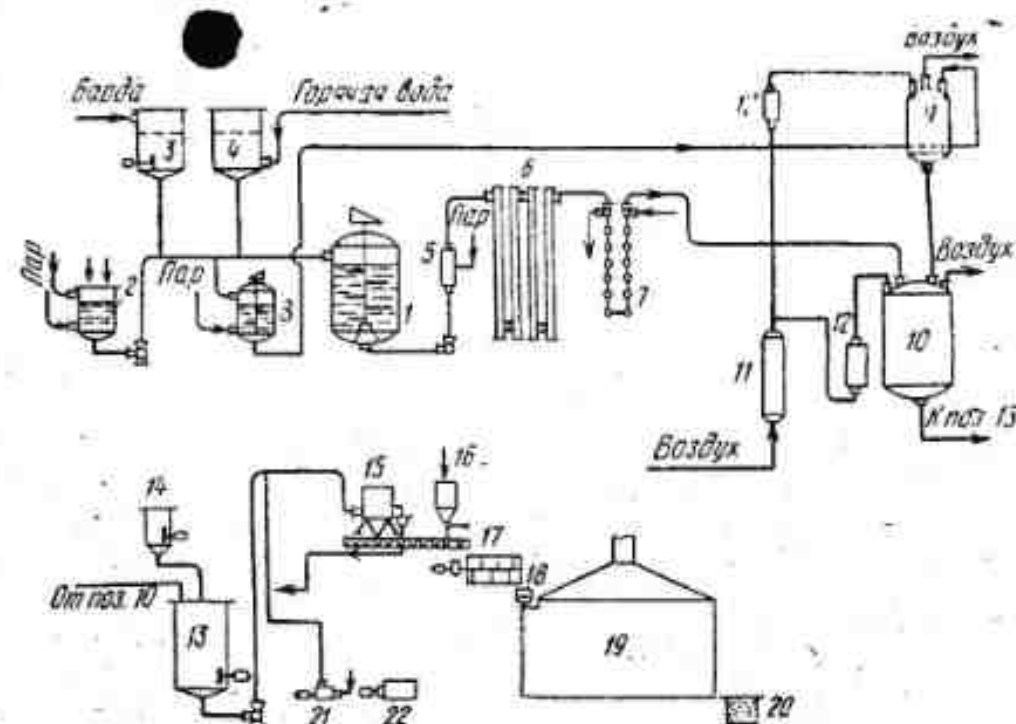


Рис. 2.9. Схема производства кормового препарата биовита:

1 — смеситель; 2 — приемный чаш раствора питательных солей; 3 — сборник барды; 4 — сборник теплой воды; 5 — греющая колонна; 6 — выдерживатель; 7 — теплообменник; 8 — смеситель; 9 — посевной аппарат; 10 — ферментатор; 11 — групповой фильтр; 12 — индивидуальный фильтр; 13 — сборник культуральной жидкости; 14 — сборник щелочи; 15 — фильтр-пресс; 16 — бункер наполнителя; 17 — смеситель; 18 — гранулятор; 19 — сушилка; 20 — приемник препарата; 21 — компрессор; 22 — мойка салфеток

2.6. ПРОИЗВОДСТВО БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ

Технологическая операция

Приготовление посевного материала

Приготовление питательной среды
Стерилизация питательной среды

Выращивание производственной культуры
Отделение спор и кристаллоидных включений
Сушка пасты

Стандартизация порошка

Фасование

Основное оборудование (рис. 2.10)

Конические кобы емкостью 3 л, аппарат Боброва, аппарат для выращивания посевного материала 18

Смеситель 14
Нагревательная колонна 15, трубчатый выдерживатель 16, теплообменник типа «труба в трубе» 17
Ферментатор 19

Сепаратор-разделитель 21

Распылительная сушилка 26, циклоны 28
Автовесы 32, смеситель шнековый 33, вибрационная мельница 36
Фасовочный аппарат

2.7. ПРОИЗВОДСТВО ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ

Микробные ферментные препараты вырабатываются по двум машинно-аппаратурным системам: при поверхностном способе культивирования продуцентов на твердых питательных средах и при глубинном способе культивирования в жидких средах.

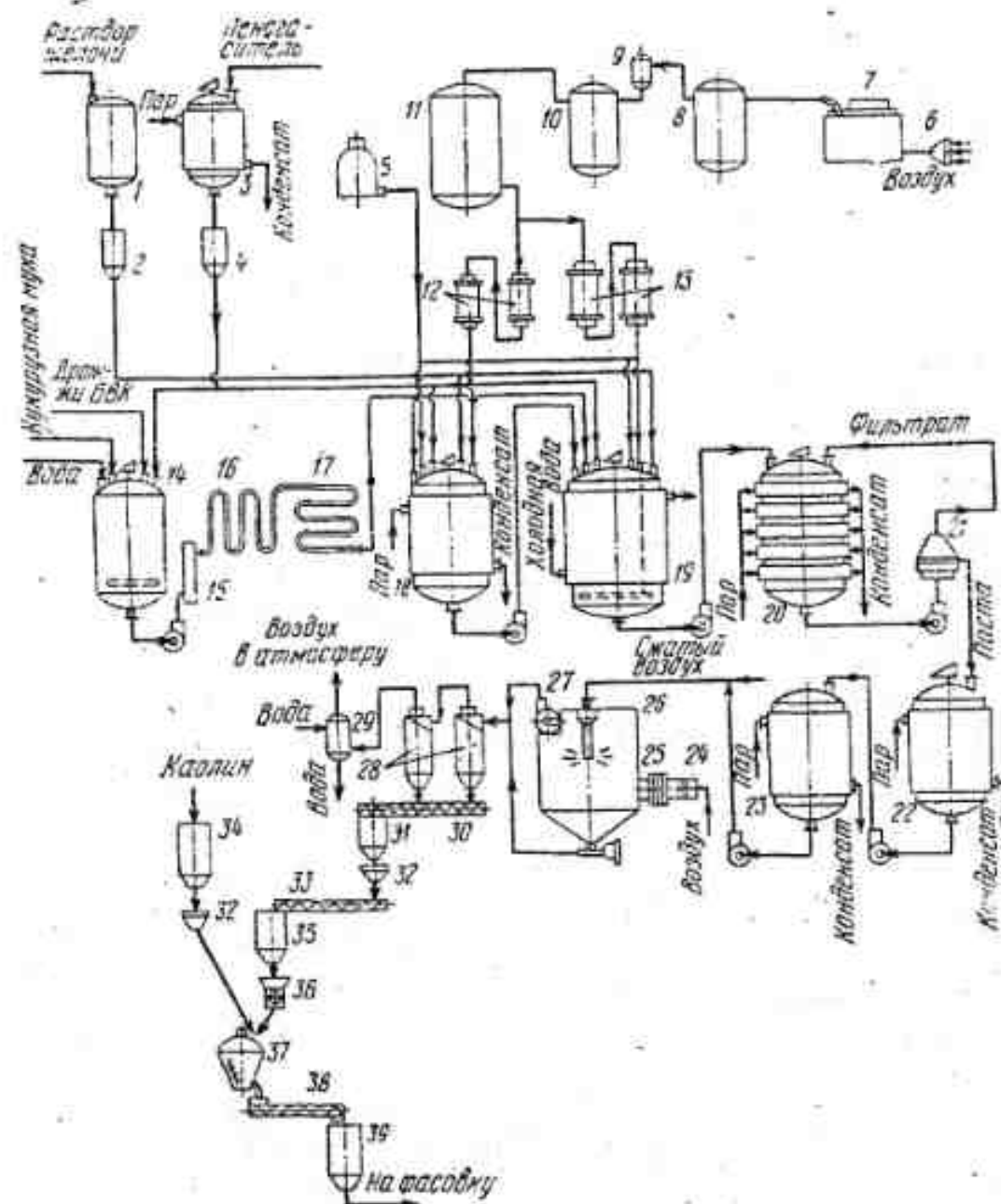


Рис. 2.10. Схема производства кормового препарата энтобактерина:

1 — сборник; 2, 4 — дозаторы; 3 — стерилизатор пеногасителя; 5 — аппарат Боброва; 6 — висциновый фильтр для очистки воздуха от механических взвешенных примесей; 7 — турбокомпрессор для сжатия воздуха до 0,03 МПа и нагревания его до 180–240 °С; 8 — трубчатый теплообменник; 9 — влагоотделитель; 10 — головной фильтр; 11 — кожухотрубный теплообменник для подогрева воздуха; 12, 13 — фильтры тонкой очистки воздуха; 14 — смеситель для приготовления питательной среды; 15 — нагревательная колонна; 16 — трубчатый выдерживатель; 17 — теплообменник типа «труба в трубе»; 18 — посевной аппарат; 19 — ферментатор; 20 — сборник культуральной жидкости; 21 — сепаратор-разделитель типа АСЭ-Б; 22 — сборник массы препарата; 23 — напорный сборник; 24 — воздушный фильтр; 25 — паровой калорифер; 26 — распылительная сушилка; 27 — вентилятор; 28 — циклоны; 29 — скруббер для очистки отработанного воздуха; 30, 38 — шнековые разделители; 31 — сборник сухого порошка; 32 — автомес; 33 — шнековый смеситель; 34 — сборник каолина; 35 — бункер промежуточный; 36 — вибрационная мельница; 37 — смеситель препарата с наполнителем; 38 — бункер готового препарата

2.7.1. Производство ферментных препаратов поверхностным способом на твердых питательных средах

Технологическая операция

Приготовление среды для выращивания посевного материала
Выращивание посевного материала

Приготовление и стерилизация производственной питательной среды

Стерилизация и засев производственной питательной среды

Выращивание производственной культуры

Основное оборудование (рис. 2.11)

Пневмотранспорт, циклон 3, стерилизаторы воды и среды 4 и 5
Механизированная установка для выращивания посевного материала 6, автомат для стерильной фасовки

Пневмотранспорт, циклон 3, реактор для приготовления раствора питательных солей 9

Стерилизатор 11, гомогенизатор 10

Механизированная растительная установка 13

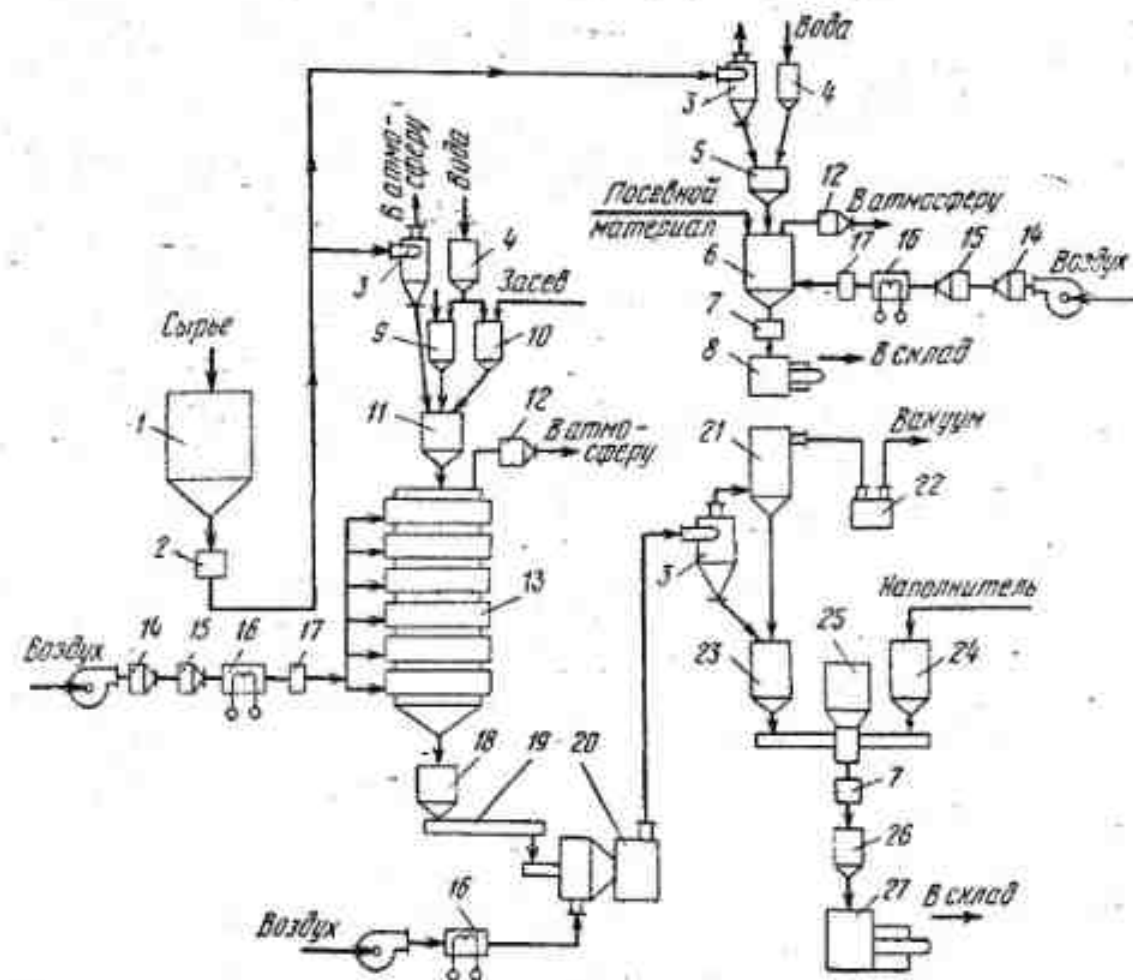


Рис. 2.11. Схема производства ферментных препаратов на твердых питательных средах:

1 — приемный бункер; 2 — дозатор; 3 — циклон-разгрузитель; 4 — стерилизатор воды; 5 — стерилизатор сырья; 6 — механизированная установка для выращивания посевного материала; 7 — шлюзовой питатель; 8 — автомат для стерильной фасовки; 9 — аппарат для приготовления раствора питательных солей; 10 — гомогенизатор; 11 — стерилизатор среды; 12 — фильтр очистки воздуха; 13 — механизированная растительная установка; 14 — фильтр грубой очистки; 15 — фильтр бактериальной очистки; 16 — калорифер; 17 — увлажнитель воздуха; 18 — сборник культуры гриба; 19 — транспортное устройство; 20 — аппарат для сушки и измельчения; 21 — фильтр рукавный; 22 — вакуум-насос; 23 — бункер для сухой культуры гриба; 24 — бункер для наполнителя; 25 — смеситель-измельчитель; 26 — бункер для стандартизованного препарата; 27 — автомат для фасовки

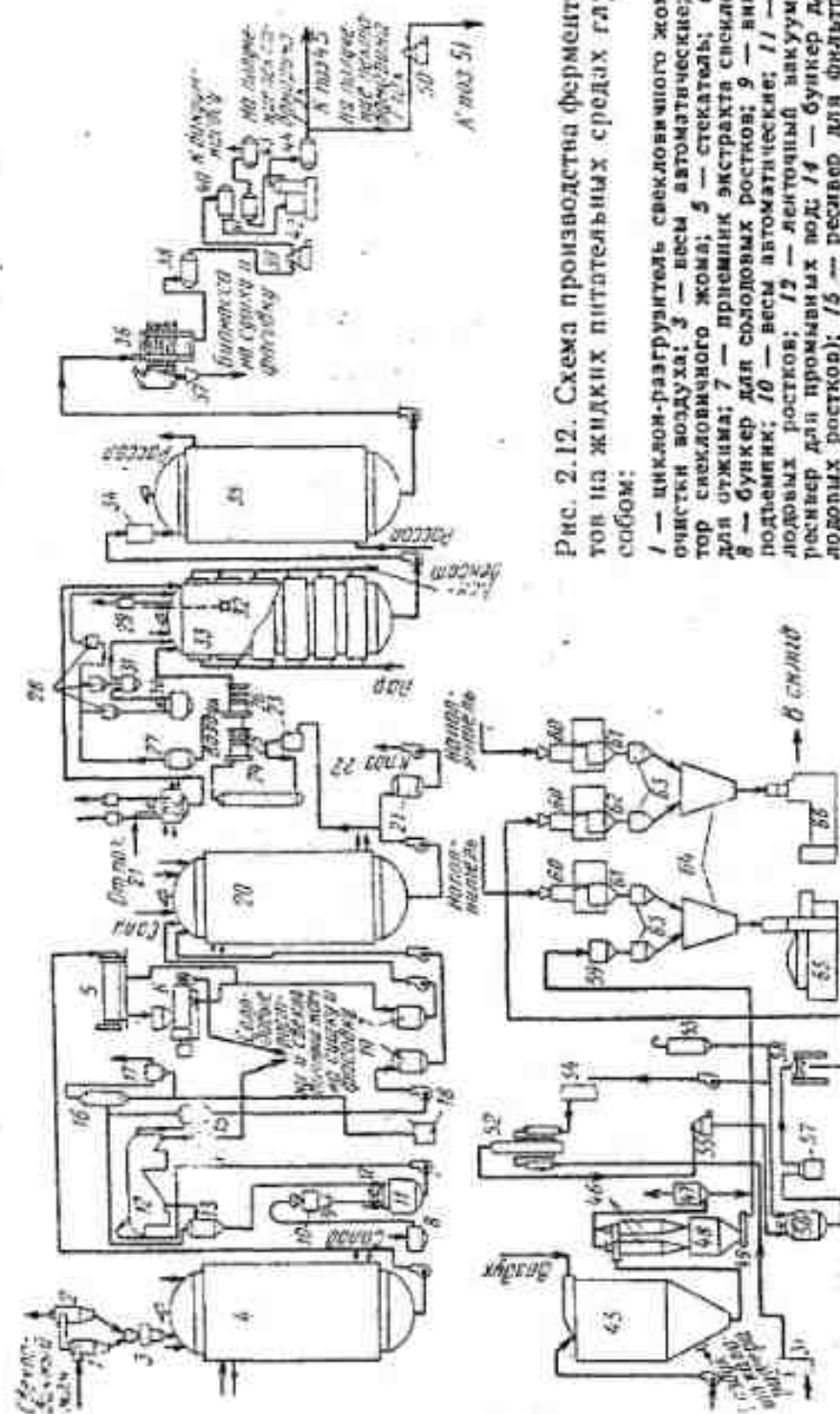


Рис. 2.12. Схема производства ферментных препаратов на жидких питательных средах глубинным способом:

1 — циклон-разгрузитель свежескопленного жома; 2 — циклон очистки воздуха; 3 — весы автоматические; 4 — экстрактор свежескопленного жома; 5 — стекатель; 6 — шнек-пресс для отжима; 7 — приемник экстракта свежескопленного жома; 8 — бункер для солодовых ростков; 9 — винтовой гибкий подъемник; 10 — весы автоматические; 11 — экстрактор солодовых ростков; 12 — ленточный вакуум-фильтр; 13 — резервуар для промывки под; 14 — бункер для осадка; 15 — резервуар для фильтрата (экстракта); 16 — барометрический конденсатор; 17 — ловушка; 18 — барометрический иппик; 19 — приемник питательной среды для инкулятора; 20 — аппарат для приготовления питательной среды (при 130 °С); 21 — пластинчатый теплообменник для охлаждения среды до 40 °С; 22 — стерилизатор; 23 — ферментатор; 24 — теплообменник для охлаждения концентрата; 25 — вакуум-выпарный аппарат; 26 — бункер для биомассы; 27 — циклон-разгрузитель; 28 — фильтр очистки уходящего воздуха; 29 — теплообменник для охлаждения культуральной жидкости; 30 — сборник культуральной жидкости; 31 — мерник пено-массы; 32 — форсуночный разбрызгиватель; 33 — ферментатор; 34 — теплообменник для охлаждения концентрата; 35 — автоматический камерный фильтр-пресс; 36 — сборник культуральной жидкости; 37 — бункер для биомассы; 38 — вакуум-выпарный аппарат; 39 — мерник спирта; 40 — спиртовой транспортер; 41 — теплообменник для охлаждения концентрата; 42 — вакуум-выпарный аппарат; 43 — сборник концентрата; 44 — сборник концентрата; 45 — распылительная сушилка; 46 — циклон-разгрузитель; 47 — фильтр рукавный; 48 — бункер высушен-ного препарата; 49 — шнековый транспортер; 50 — мерник спирта; 51 — теплообменник для охлаждения концентрата; 52 — установка с дисмембратором; 53 — мерник спирта; 54 — теплообменник для охлаждения концентрата; 55 — бункер для высушенного препарата; 56 — установка с дисмембратором; 57 — центрифуга; 58 — барабанная вакуум-сушилка; 59 — бункер для измельченного препарата; 60 — установка с дисмембратором; 61 — бункер для измельченного препарата; 62 — бункер для измельченного препарата; 63 — весы автоматические; 64 — смеситель; 65 — автомат для фасовки по 17 кг; 66 — автомат для фасовки по 0,5 кг.

Технологическая операция

Сушка и измельчение выращенной производственной культуры
Стандартизация производственной культуры
Фасование готового препарата

Основное оборудование (рис. 2.11)

Аппарат для сушки и измельчения 20
Смеситель-измельчитель 25
Фасовочный автомат 27

2.7.2. Производство ферментных препаратов глубинным способом на жидких питательных средах

Технологическая операция

Приготовление питательной среды

Стерилизация и охлаждение питательной среды

Приготовление посевного материала

Выращивание производственной культуры

Отделение биомассы от культуральной жидкости

Сушка биомассы

Фасовка отходов производства

Отделение фильтрата культуральной жидкости

Концентрирование центрифугата

Сушка концентрата

Осаждение ферментов из концентрата этанолом

Сушка ферментного осадка

Стандартизация препарата

Фасование препарата типа амилосуб-тилина Г10х

Основное оборудование (рис. 2.12)

Циклон-разгрузитель 1, экстракторы 4, стекатель 5, шнек-пресс 6, ленточный вакуум-фильтр 12, смеситель 20
Нагревательная колонка 23, выдерживатель 24, теплообменники 25, 26
Инокулятор 22
Ферментатор 33

Автоматический камерный фильтр-пресс 36
Барабанная сушилка
Автомат для фасовки и упаковки
Сепаратор 50

Вакуум-выпарные аппараты 42
Распылительная сушилка 45 (для препарата типа ГЗх)
Установка непрерывного осаждения 52, аппарат отсушки препарата 56, центрифуга 57
Барабанная вакуум-сушилка 58
Установка с дисмембратором 60, смеситель 64
Автоматы фасовочные 65, 66

Глава 3. ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

На предприятиях микробиологической промышленности применяются разнообразные подъемно-транспортные установки. Для перемещения грузов используются главным образом транспортные устройства непрерывного действия, поскольку технологические операции процессов на этих предприятиях организованы преимущественно поточно.

Ниже даны классификация и характеристика перемещаемых грузов и транспортных установок.

3.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ВЫБОР ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Основные требования, предъявляемые к подъемно-транспортным устройствам в асептическом производстве, заключаются в соблюдении строгой чистоты, стерильности и полной герметизации транспортных коммуникаций, обеспечивающих полное устранение пылеобразования и распространение различных вредных веществ в виде газов, спор, конидий грибов и др. в воздухе, инертность материалов транспортирующих устройств к компонентам перемещаемых сред и особенно обеспечение сохранения полного удаления продукта из транспортных устройств.

Транспортирующие машины и установки непрерывного действия, имеющие горизонтальные направления пути перемещения грузов называются транспортерами, а имеющие вертикальные направления, — нориями (элеваторами). Конвейерами называются транспортирующие устройства непрерывного действия, при движении по которым груз подвергается каким-либо технологическим операциям.

Весь промышленный транспорт подразделяют на внешний и внутренний. Внешний транспорт применяется для доставки на предприятие сырья, полуфабрикатов, топлива, основных и вспомогательных материалов для производства и строительства, а также используется для вывоза с предприятий готовой продукции и отходов производства. К внешнему транспорту относится железнодорожный, автомобильный, водный, воздушный, трубопроводный и др. Внутренний транспорт (внутризаводской) предназначен для перемещения грузов по территории предприятия (межцеховой) и внутри отдельных подразделений в соответствии с принятой технологической схемой (внутрицеховой). Внутризаводской транспорт является более важным для внутренней деятельности предприятия.

Классификация транспортных установок производится по сле-

дующим наиболее характерным признакам: по принципу действия; по роду и способу перемещения грузов; по назначению и способу установки на производственных площадях.

По принципу действия все подъемно-транспортные установки подразделяют на установки периодического или непрерывного действия.

В установках непрерывного действия грузонесущие элементы и перемещаемые среды движутся в одном и том же направлении, загрузка и выгрузка производятся, как правило, без остановки системы во время движения. Установки непрерывного действия используются для перемещения грузов или потоков. На микробиологических предприятиях — это потоки сухого сырья, продуктов его переработки, отходов производства и др.

В этих установках грузы перемещаются с помощью различных тяговых элементов: цепей, лент, канатов (цепные и ленточные транспортеры, элеваторы) или без них (винтовые, вибрационные, инерционные, роликовые, гравитационные, штанговые транспортные устройства). Первые имеют совместное движение тягового органа и перемещаемого груза; вторые — поступательное движение груза при вращательном или колебательном движении рабочего органа. Кроме этого к установкам непрерывного действия относятся установки пневматического и гидравлического транспорта, в которых движущая сила от вентиляторов и насосов передается потоком воздуха или воды.

В установках периодического действия грузозахватные устройства совершают циклическое движение с грузом в направлении его перемещения, а без груза — в обратном, загрузку и выгрузку производят обычно при остановке. При работе транспортного устройства периодического действия необходимо затрачивать время на обратный холостой ход. К перемещающим установкам периодического действия можно отнести устройства для подъема грузов (домкраты, лебедки, лифты, скиповые подъемники); для горизонтального перемещения грузов (ручные и механические тележки, авто- и электропогрузчики, скреперные установки) и для пространственного перемещения грузов (поворотные и мостовые краны).

По роду и способу перемещения грузов транспортные установки подразделяют на установки с перемещением грузов в движущихся грузонесителях и по неподвижным коммуникациям.

В установках, где груз перемещается в грузонесителях (мешки, ящики, контейнеры, поддоны, различные сосуды), силы инерции, тяжести, давления, вызванные наличием груза, воспринимаются стенками грузонесителя, а силы, перемещающие груз, действуют на грузонеситель. В установках, где груз перемещается по неподвижным коммуникациям (гидро- и пневмотрубопроводы, желоба и др.), действующие силы (сила давления, сила инерции, сила тяжести перемещаемого груза, сила аэродинамического сопротивления) передаются от рабочих органов непосредственно грузу.

По назначению и способу монтажа на производственных площадях подъемно-транспортные установки подразделяют на ста-

ционарные, устанавливаемые на определенном месте, и передвижные, место расположения которых можно менять.

Основными параметрами при выборе подъемно-транспортной установки являются длина и высота перемещения груза, скорость и грузоподъемность, производительность, мощность привода, удельный расход энергии на перемещение и физико-механические свойства грузов.

3.2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТИРУЕМЫХ ГРУЗОВ

На выбор типа и расчета конструкции средств перемещения различных грузов большое влияние оказывают физико-механические свойства и параметры этих грузов. Все грузы подразделяют на сыпучие, кусковые, штучные и жидкие.

К сыпучим относятся зернистые, порошкообразные и кусковые грузы, которые хранят и перемещают насыпью. Сыпучие грузы характеризуются формой и размером частиц, гранулометрическим составом, плотностью веществ частиц, насыпной плотностью слоя частиц, углом естественного откоса, коэффициентом внешнего и внутреннего трения, истирающей способностью (абразивностью), слеживаемостью (уплотнением). Кроме того, они характеризуются аэродинамическими свойствами (скоростью витания частиц, скоростью псевдооживления и др.).

Гранулометрический состав (долю того или иного размера частиц в общем объеме материала) определяют из гистограмм по данным, полученным по ситовому анализу сыпучих грузов.

Плотность вещества частиц сыпучего груза ρ_r (кг/м³) определяют из соотношения

$$\rho_r = m/V,$$

где m — масса частицы сыпучего груза, кг; V — объем, занимаемый частицей, м³.

Насыпную плотность сыпучего груза ρ_n (кг/м³) определяют по формуле

$$\rho_n = m_r/V_r,$$

где m_r — масса сыпучего груза, кг; V_r — объем, занимаемый грузом, м³.

Углом естественного откоса φ называют угол, образованный горизонтальной плоскостью и плоскостью свободного (естественного) откоса сыпучего груза. Различают углы естественного откоса сыпучего материала в состоянии покоя φ и в движении φ_d . Приближенно принимают $\varphi_d \approx 0,7 \varphi$.

Тангенс угла φ называется коэффициентом внутреннего трения сыпучего груза, который зависит от влажности материала, гранулометрического состава, температуры и т. д.

Коэффициент трения сыпучего груза f о различные материалы (сталь, дерево, резина) необходим для расчета углов наклона сте-

нок бункеров, воронок транспортеров и связан с углом трения зависимостью

$$f = \operatorname{tg} \alpha,$$

где α — угол трения перемещаемого груза о материал.

Влажность сыпучего груза w (мас. %) — это отношение массы содержащейся в грузе влаги к массе G_c абсолютно сухого груза

$$w = W/100G_c,$$

где W — масса влаги, содержащейся в грузе, кг; G_c — масса абсолютно сухого груза, кг.

Различают массы сыпучего G , свободно насыпанного, и уплотненного материала G_y . Отношение G/G_y называют коэффициентом слеживаемости груза a , его величина колеблется в пределах 1,05—1,52.

Способность грузов оказывать истирающее воздействие на соприкасающиеся с ними во время движения поверхности лотков, желобов лент и т. п. называют абразивностью. Большинство сыпучих материалов, применяемых в микробиологической промышленности, относят к неабразивным или малоабразивным.

К особым свойствам сыпучих грузов относятся липкость, смерзаемость, хрупкость, гигроскопичность, ядовитость, корродирующие свойства и т. п. Все эти свойства необходимо учитывать при выборе и проектировании транспортирующих и вспомогательных устройств и принимать эффективные меры против их вредного воздействия на конструкцию сооружений и на окружающую среду.

К штучным грузам относят единичные грузы, учитываемые обычно по количеству штук (детали и узлы машин и аппаратов, приборы и др.), а также тарные грузы (ящики, мешки, бутылки, бочки, кипы, контейнеры, поддоны и т. п.) и массовые грузы, представляющие собой предметы определенной формы (чушки, слитки, строительные блоки, бревна, прокатные профили металлов и пр.). Штучные грузы характеризуются габаритными размерами, формой, массой единичного груза, удобством укладки, коэффициентом трения о поверхность и особыми свойствами, к которым относятся температура горячих предметов, взрыво- и пожароопасность, ядовитость, пыление и др.

Жидкие грузы в микробиологических производствах используются в значительных количествах. Они перемещаются как внутри цехов, так и между цехами. К этим грузам относятся нейтральные и химически агрессивные жидкости с различной вязкостью и плотностью. Движение жидкостей осуществляется по трубопроводам с помощью насосов.

В табл. 3.1 приведены физико-механические свойства основных видов сырья, полуфабрикатов и продуктов микробиологического синтеза.

Таблица 3.1. Физико-механические свойства транспортируемых грузов

Транспортируемый материал	Средний размер частиц, мм	Плотность, кг/м³	Насыпная плотность, кг/м³	Влажность, %
---------------------------	---------------------------	------------------	---------------------------	--------------

Сыпучие среды и

Крахмал	—	1650	500—700	15,4
Мука пшеничная высшего сорта	0,16	1410—1500	550—600	—
Мука обойная	—	—	670	—
Мука кукурузная	—	1380	450—560	8—9
Отруби	0,50—0,72	1220	180—870	12—14
Сахарный песок	0,5—1,5	1580	720—880	—
Мелкая сухая соль	1,0	2200	900—1300	—
Жмых подсолнечный	0,93	1394	579	4,3
Соль поваренная	—	—	720—1280	—
Шрот подсолнечный	1,44	890	420	8,0
Мука рыбная	0,48	1380	710	5,5
Дрожжи кормовые	0,16	1210	500	10
Дрожжи кормовые БВК	0,16	1210	550	10
Сухие кормовые дрожжи в гранулах	5—9	1210	640—599	Около 10
Жом свекловичный	—	—	165,0	7—8
Мезга картофельная	—	—	515	11—12
Лузга гречневая	—	—	135	9—10
Лузга овсяная	—	—	148	10—11
Лузга подсолнечная	—	—	90—122	8—9
Солодовые ростки	—	—	217	78
Питательные среды из пшеничных отрубей влажностью 60 %	—	—	306	58—60
Среда из 50 % отрубей и 50 % свекловичного жома	—	—	290	60
Опилки древесные	—	—	160—300	—

Источники макро- и микроэлементов

Сульфат аммония	—	—	900—1000	—
Цинк сернокислый	2,46	1970	1169	25—26
Цинк углекислый	0,36	4440	337	2,68
Кобальт сернокислый	0,80	1950	956	34,87
Кобальт углекислый	0,56	4130	471	12,10
Кобальт хлористый	1,13	1920	1050	30,34
Марганец сернокислый	0,28	2100	1083	6,78
Марганец хлористый	1,26	2010	1030	27,63
Марганец углекислый	0,09	3120	1003	4,68
Медь сернокислая	0,64	2280	1232	28,78
Медь углекислая	0,10	4000	824	0,87
Железо сернокислое	—	1900	889	39,19
Калий йодистый	0,62	3130	1250	0,07
Натрий хлористый	0,77	2370	1182	0,04
Мел кормовой обесфторенный	0,39	2850	787	6,60
Фосфат кормовой	0,10	3030	1469	0,40
Сода кальцинированная	—	—	500—1250	—
Цемент	—	—	960—1600	—

Угол естественного откоса, град	Коэффициент внутреннего трения	Коэффициент внешнего трения:			Скорость вытания частиц, м/с
		по стали	по дереву	по резине	

товарные продукты

—	—	—	—	—	1,5—1,8
55	1,6	0,65	0,85	0,85	2,0—3,0
—	—	0,92	0,9	—	2,0—3,0
31	1,4	—	—	—	—
25—43	0,180—0,466	1,0	—	1,2	2,75—3,25
—	1,2	0,85	—	—	8,7—12,0
—	0,9—1,1	0,49	1,23	—	9,8—12,0
47	0,36	—	—	—	—
45	0,58—1,19	0,49	—	0,63	—
35	0,37	—	—	—	—
44	0,20	—	—	—	—
35	0,58	—	—	—	—
65	—	—	—	—	—
30—33	0,63—0,95	0,36	0,40—0,47	0,39—0,41	12,0—15,6
36	0,726	—	—	—	—
35	0,7	—	—	—	—
22	0,404	—	—	—	—
24	0,445	—	—	—	—
34—42	0,675	0,45	—	—	—
32	0,625	—	—	—	—
38	0,782	—	—	—	—
65	2,15	—	—	—	—
40—45	0,60—1,44	0,39—0,83	—	0,51—0,65	—

и другие химические вещества и материалы

50	0,84	—	—	—	—
41	0,54	—	—	—	—
42	0,22	—	—	—	—
47	0,67	—	—	—	—
41	0,33	—	—	—	—
43	0,41	—	—	—	—
40	0,38	—	—	—	—
39	0,41	—	—	—	—
39	0,37	—	—	—	—
36	0,49	—	—	—	—
35	0,42	—	—	—	—
55	0,40	—	—	—	—
41	0,56	—	—	—	—
42	0,24	—	—	—	—
49	0,42	—	—	—	—
44	0,49	—	—	—	—
45	0,71—1,02	0,56—0,70	—	—	—
—	0,50—0,84	0,45—0,65	0,30—0,40	0,64	—

Транспортируемый материал	Средний размер частиц, мм	Плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³	Влажность, %
---------------------------	---------------------------	------------------------------	---------------------------------------	--------------

Вита				
Аскорбиновая кислота (витамин С)	0,27	1660	722	0,02
Никотиновая кислота (витамин РР)	0,42	1230	427	0,35
Викасол (витамин К ₃)	0,23	1510	621	2,63
Витамин А	0,20	—	450	3,68
Витамин Е	0,32	—	263	0,46
Видеин (витамин Д ₃)	0,71	1390	627	6,19
Рибофлавин (витамин В ₂)	0,17	1440	106	0,02
Пантотенат кальция (витамин В ₃)	0,24	—	577	1,17
Цианкобаламин (витамин В ₁₂ кормовой)	0,12	—	372	5,67
Фолиевая кислота (витамин В ₉)	0,65	1580	250	5,94

Ферментные				
Амилосубтилин ГЗх	—	—	499—600	9—10
Амилоризин Пх	—	—	389	10—11
Пектаваморин Пх	—	—	270	8—10
Протосубтилин ГЗх	—	—	316	6—8
Пектаваморин ГЗх	—	—	296	6—7
Протосубтилин Г10х	—	—	400	6—8
Пектаваморин Г10х	—	—	468—660	7—8
Ксилаваморин П10х	—	—	300—526	6

3.3. УСТАНОВКИ НЕПРЕРЫВНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗОВ

К установкам непрерывного перемещения сыпучих грузов относятся: горизонтальные транспортеры (ленточные, пластинчатые, винтовые, вибрационно-ленточные, трубные), вертикальные транспортеры (нории, вибрационные, гибкие механические транспортеры, пневматические подъемники, гравитационные спуски) и смешанные транспортеры (пневматический транспорт).

3.3.1. Ленточные транспортеры

Ленточные транспортеры на микробиологических производствах нашли широкое применение для перемещения сыпучих, кусковых и штучных грузов в горизонтальном и наклонном направлениях. Угол наклона транспортера к горизонту зависит от физических свойств груза и составляет до 25° и более. Ленточные транспортеры бывают стационарными и передвижными. Использование этих транспортеров связано с тем, что они просты по конструк-

Угол естественного откоса, град	Коэффициент внутреннего трения	Коэффициент внешнего трения			Скорость вращения частиц, м/с
		по стали	по дереву	по резине	

мин					
37	0,39	—	—	—	—
50	0,28	—	—	—	—
37	0,42	—	—	—	—
33	—	—	—	—	—
37	—	—	—	—	—
39	0,26	—	—	—	—
50	0,27	—	—	—	—
44	0,40	—	—	—	—
36	0,29	—	—	—	—
48	0,24	—	—	—	—

препараты					
44	1,2	—	—	—	—
42	0,9	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—

ции, легки в эксплуатации, надежны в работе, экономичны и имеют большой диапазон регулирования производительности — до 2500 м³/ч.

Ленточный транспортер (рис. 3.1) состоит из гибкой замкнутой ленты, чаще всего резиноканевой с передвижной разгрузочной тележкой, приводного и натяжного барабанов диаметром 400—500 мм и более с винтовым или грузовым натяжным устройством ленты. Верхняя часть ленты располагается на свободно вращающихся роликах, установленных на раме транспортера, изготовленной из угловой стали. Ролики устанавливаются горизонтально (для плоской ленты), либо под углом один к другому (для лотковой ленты). Диаметр роликов для резиноканевой ленты равен 80—200 мм, стальной — 350—400 мм, шаг роликов на рабочей ветви — 250—350 мм, на нижней поддерживающей ветви транспортера — 1—1,5 м.

В качестве тягового и несущего элементов применяют тканые шерстяные, хлопчатобумажные или пеньковые, прорезиненные синтетические и стальные ленты. Резиноканевые ленты имеют ширину

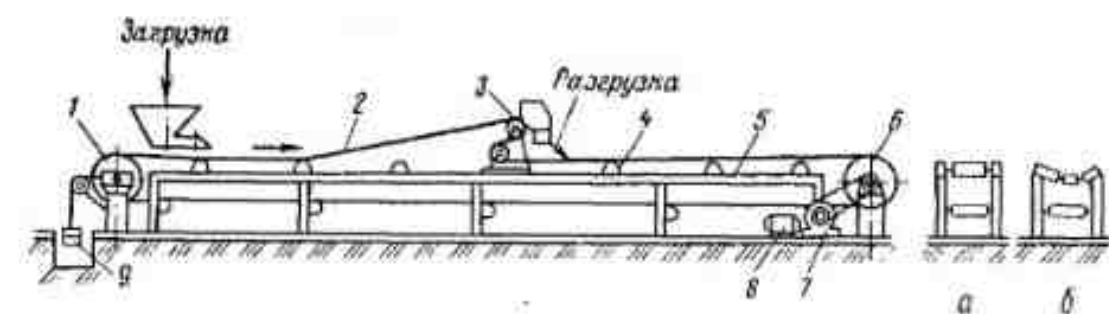


рис. 3.1. Ленточный транспортер:

— с плоской лентой; б — с лотковой лентой;
— натяжной барабан; 2 — лента; 3 — разгрузочная тележка; 4 — ролик; 5 — рама;
— приводной барабан; 7 — редуктор; 8 — электродвигатель; 9 — грузовое натяжное устройство

т 300 до 3000 мм и количество прокладок — от 3 до 12. Прокладки для лент высокой прочности изготавливают из нейлона, стекловолокна, капрона, лавсана.

Производительность P (т/ч) горизонтального ленточного транспортера:

для насыпных грузов с плоской лентой $P = 155 B^2 v p$;

для насыпных грузов с лотковой лентой $P = 310 B^2 v p$;

для штучных грузов с плоской лентой $P = 3,6 m v / l$,

где B — ширина ленты, мм; v — скорость транспортера, м/с (для большинства сыпучих материалов она составляет 0,75—3,0 м/с, сильносыпучих — 0,75—1,2, штучных — 0,5—1,9 м/с); p — насыпная плотность, т/м³; m — масса единичного груза, кг; l — расстояние между грузами на ленте, м.

С увеличением угла наклона ленточного транспортера от 5 до 15° скорость ленты снижается от 9 до 40 %.

Потребная мощность электропривода N_e (кВт) ленточного транспортера определяется по формуле

$$N_e = [(K_1 v L + 0,00014 P L \pm 0,0024 P H) K_2 + N_T] / \eta,$$

где K_1 — коэффициент, зависящий от ширины ленты; L — длина транспортера по горизонтали, м; H — высота подъема груза, м; P — производительность транспортера, т/ч; K_2 — коэффициент, зависящий от длины транспортера; N_T — мощность, необходимая для разгрузочной тележки, кВт; η — КПД привода ($\eta = 0,75 \div 0,8$); $\pm$ — подъем или опускание груза.

Значения коэффициентов K_1 и K_2 приведены ниже

Ширина ленты, мм	400	500	650	800	1000	1200
K_1	0,004	0,005	0,007	0,010	0,012	0,014
Длина транспортера, м	До 10	10—15	15—25	25—35	35—45	45
K_2	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0

Мощность N_T определяют по табл. 3.2.

Таблица 3.2. Мощность N_T (кВт), необходимая для передвижения разгрузочной тележки ленточного транспортера

Ширина ленты, мм	Длина перемещения тележки, м						
	Менее 30	40	50—60	70—80	90—100	110—120	130—140
400	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,65	0,70
500	0,32	0,36	0,45	0,60	0,75	1,0	1,2
600	1,0	1,2	1,4	1,6	2,2	2,5	2,7
800	1,8	2,1	2,5	3,0	3,9	4,3	4,9
1000	2,7	3,0	3,5	4,0	5,0	5,5	6,5
1200	3,24	3,8	4,1	4,7	5,8	6,3	7,2

3.3.2. Скребокковые транспортеры

Для перемещения сыпучих и кусковых грузов применяют скребокковые транспортеры, в которых тяговый орган выполнен в виде скребка. Скребокковые транспортеры бывают открытые с высокими и закрытые с погруженными тяговыми органами. Такие транспортеры с желобами шириной 75—750 мм могут перемещать груз в горизонтальном, наклонном (до 45°) и вертикальном направлениях на расстояния до 100 м со скоростью 0,2—1,0 м/с.

Транспортеры с погруженными скребками применяют для транспортирования муки, крахмала, биомассы, проэкстрагированного жома, солодовых ростков и других материалов. Скребокковые транспортеры показаны на рис. 3.2. Скребокковый транспортер состоит из ведущей и ведомой звездочек и комбинированной цепи с прикрепленными к ней скребками. Нижняя ветвь транспортера размещена в желобе, куда поступает сыпучий груз. Скребки представляют собой металлические пластины, имеющие контур желоба, трапеции или полукруга.

В микробиологической промышленности для транспортирования пылевидных, порошкообразных, зернистых и мелкокусковых грузов по горизонтальным и наклонным (до 15°) трассам применяют транспортеры типа КПС-200, имеющие закрытые герметичные корыта прямоугольного сечения. Перемещение груза осуществляется со скоростью движения от 0,16 до 0,4 м/с.

Для перемещения взрывоопасных, токсических и химических агрессивных кусковых порошкообразных и пылевидных насыпных грузов применяют транспортеры типа КПС-125-ВГК, выполненные во взрывобезопасном и герметичном исполнении. Скорость перемещения грузов на этих транспортерах достигает 0,5—0,63 м/с, перемещение может происходить в горизонтальном, горизонтально-наклонном (до 75°) и горизонтально-вертикальном направлениях. Электропривод и пусковая аппаратура на этих транспортерах выполнена также во взрывозащищенном исполнении. При самопроизвольной остановке или изменении скорости движения цепи автоматическое устройство выключает привод и включает аварийный сигнал на пульте управления.

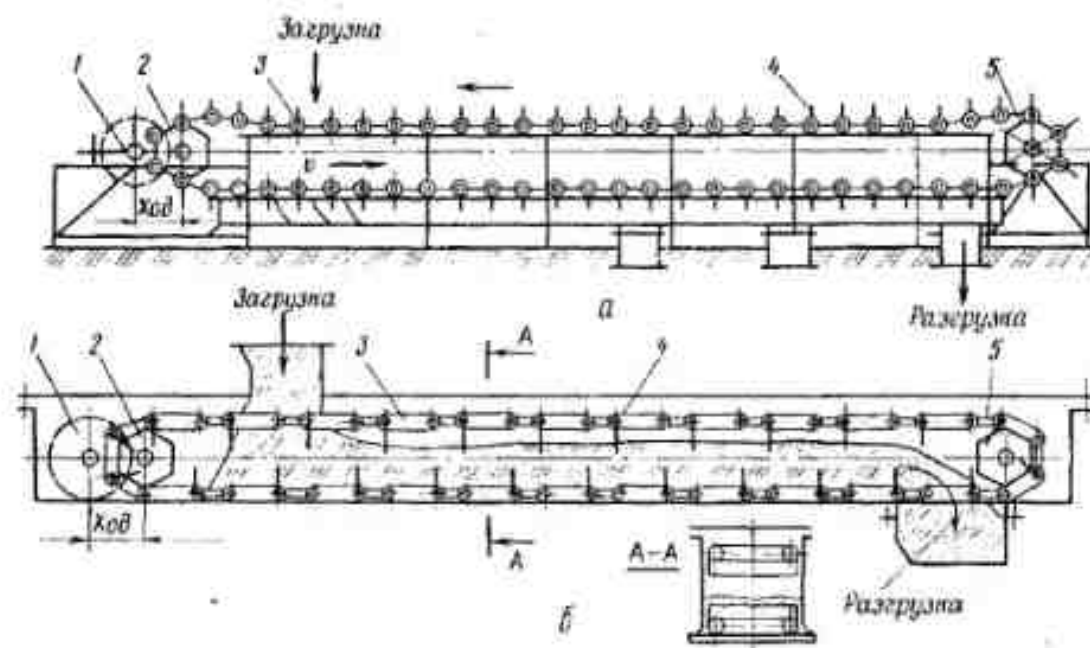


Рис. 3.2. Скребокковые транспортеры:

а — с высокими скребками; б — с погруженными скребками;
1 — винтовое натяжное устройство; 2 — ведущая звездочка; 3 — цопь; 4 — скребки;
5 — ведомая звездочка

Производительность (т/ч) скребкового транспортера

$$P = 3,6 B h v \rho K_y K_z, \text{ или } P = 3,6 h^2 v \rho K_y K_z K_{ж},$$

где B — ширина желоба, м; h — высота желоба, м; v — скорость движения цепи, м/с (в зависимости от свойства груза принимают от 0,2 до 1 м/с); K_y — коэффициент, зависящий от угла α наклона транспортера (при $\alpha = 0^\circ K_y = 1$; при $\alpha = 10^\circ K_y = 0,85$; при $\alpha = 20^\circ K_y = 0,65$; при $\alpha = 30^\circ K_y = 0,5$); K_z — коэффициент заполнения желоба ($K_z = 0,5 \div 0,6$); ρ — насыпная плотность груза, кг/м³; $K_{ж}$ — коэффициент отношения ширины желоба к высоте желоба ($K_{ж} = 2 \div 4$).

Потребная мощность (кВт) электропривода:

для горизонтального и пологонаклонного транспортеров

$$N_2 = [0,3 (1 + B L_{гор}) v + 0,003 P (H + 1,8 f L_{гор})] / \eta;$$

для вертикальных и крутонаклонных транспортеров

$$N_2 = [0,07 B v (H + 4,3 L_{гор}) + 0,005 P (1,6 H + f L_{гор})] / \eta,$$

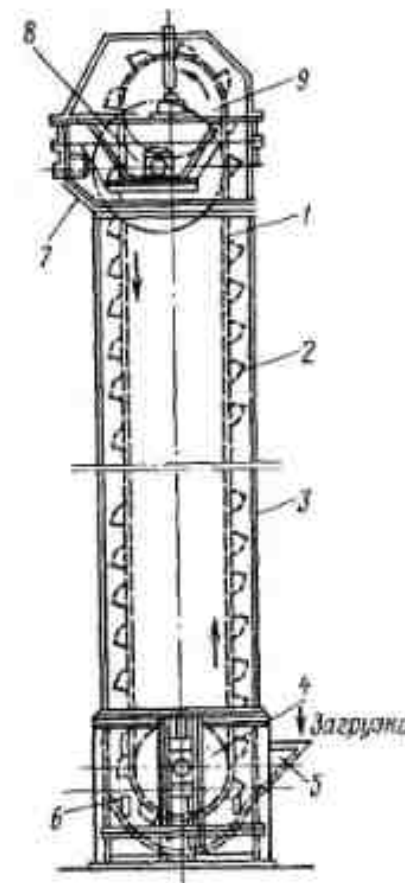
где $L_{гор}$, H — длина транспортера по горизонтали и высота по вертикали, м; f — коэффициент трения насыпного груза о стенки желоба; P — производительность, т/ч; η — КПД передачи ($\eta = 0,8 \div 0,9$).

3.3.3. Элеваторы (нории)

В микробиологической промышленности для приготовления питательных сред к стерилизаторам, находящимся на верхних этажах здания, сыпучие материалы транспортируют на высоту до 40 м, а также под углом $45-70^\circ$. Обычно для этого используют элеваторы, или нории. Рабочим органом норий являются ковши, укрепленные на ленте или цепи.

Рис. 3.3. Нория:

1 — тяговый элемент; 2 — ковши; 3 — кожух; 4 — натяжной барабан; 5 — загрузочный носок; 6 — башмак; 7 — разгрузочный патрубок; 8 — приводная головка; 9 — приводной барабан



Нория (рис. 3.3) состоит из замкнутого тягового элемента 1, на котором закреплены ковши 2. Для хорошо сыпучих материалов применяют глубокие ковши шириной 135—450 мм. Бесконечная лента огибает верхний приводной 9 и нижний натяжной 4 барабаны. Натяжение ленты производится обычным натяжным винтовым устройством. Все элементы норин заключены в кожух, который имеет сверху приводную головку 8, нижнюю натяжную головку (башмак) 6 и среднюю часть (кожух) 3, состоящую из двух труб. В нижней части кожуха расположена загрузочная воронка 5 (носок), а в верхней части его — разгрузочный патрубок 7. Сыпучее вещество зачерпывается ковшами из башмака или заполняется частично подачей прямо в ковш. Ковш с грузом поднимается вверх и при переходе через верхний барабан опрокидывается, и сырье под действием центробежной силы и силы тяжести частицы высыпается через разгрузочный патрубок в приемное устройство.

При транспортировании мелкокусковых, зерновых и пылевидных грузов со скоростью 0,8—2 м/с применяют нории с расставленными ковшами вместимостью от 0,9 до 1,5 л по 2—3 ковша на 1 пог. м. Крупнокусковые материалы загружаются в сомкнутые ковши, у которых носок расположен высоко. Скорость движения в этом случае равна 0,4—0,8 м/с. Наиболее широко распространены нории с лентами шириной 150, 200, 250, 300, 400 и 500 мм. Производительность различных норий составляет от 5 до 500 т/ч.

Широкому применению норий способствуют незначительные габариты этих установок, однако из-за ненадежной герметизации и пылевыведения они не могут применяться для транспортировки токсичных и пылеобразующих веществ. Производительность норин ковшевого типа (т/ч или кг/с)

$$P_1 = 3,6 V v \rho K_z / l, \text{ или } P_2 = V v \rho K_z / l,$$

где V — вместимость ковша, м³; v — скорость перемещения груза, м/с; ρ — насыпная плотность, кг/м³; K_z — коэффициент заполнения ковшей (для мелкозернистых материалов $K_z = 0,85 \div 0,95$, для крупнозернистых и кусковых $K_z = 0,5 \div 0,8$); l — шаг ковшей, м.

Потребная мощность (кВт) электропривода приводного барабана

$$N_p = P_p H g / (1000 \eta),$$

где P_p — производительность нории, кг/с; H — высота подъема груза, м; g — ускорение свободного падения, м/с²; η — КПД привода.

3.3.4. Винтовые транспортеры

В микробиологической промышленности винтовые транспортеры применяются для перемещения сыпучих и мелкокусковых грузов (мука, крахмал, соли, сухая измельченная культура плесневых грибов, сухих кормовых продуктов и др.) в горизонтальном и наклонном (до 20°) направлениях на расстоянии до 40 м. На рис. 3.4 показан винтовой транспортер. Горизонтальный винтовой транспортер состоит из желоба, винта, приемного и выпускного патрубков. Винт приводится во вращение приводом и опирается на концевые и промежуточные подшипники.

Материалы, подлежащие перемещению, загружаются в желоб через загрузочный патрубок и при вращении винта перемещаются к разгрузочным патрубкам, расположенным на дне желоба. По длине шнекового транспортера располагаются смотровые окна.

Перемещаемый груз вращаться вместе с винтом не может, так как этому препятствуют сила тяжести груза и сила трения его о желоб. Частота вращения винта шнека 0,5—2,0 с⁻¹.

Принцип действия наклонного шнека аналогичен горизонтальному.

Винтовые транспортеры изготавливаются с винтами диаметром и шагом в следующих соотношениях:

Диаметр винта, мм	100	125	160	200	250	320	400	500	650	800
Шаг винта, мм	80	100	125	160	200	250	320	400	500	650

Производительность (т/ч) винтового транспортера

$$P = 0,047 D^3 n p K_n K_s K_y,$$



Рис. 3.4. Винтовой транспортер:

1 — электропривод; 2 — концевые подшипники; 3 — смотровое окно; 4 — промежуточные подшипники; 5 — винт; 6 — разгрузочный патрубок; 7 — желоб

где D — диаметр винта, м; n — частота вращения винта, мин⁻¹; p — насыпная плотность, кг/м³; K_n — коэффициент зависимости шага винта (t) от диаметра винта [для легкосыпучих грузов $K_n = 0,75 \div 1,0$, для крупнокусковых и абразивных грузов $K_n = 0,5 \div 0,6$]; K_s — коэффициент заполнения желоба [для легких и неабразивных грузов — (мука) $K_s = 0,4$, для легких и малоабразивных грузов (мел, отруби, сода и т. п.) $K_s = 0,32$, для тяжелых и малоабразивных грузов (соль, сахарный песок, сухая глина и т. п.) $K_s = 0,25$]; K_y — коэффициент, зависящий от угла наклона транспортера.

Угол наклона, град	0	5	10	15	20
K_y	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6

Мощность (кВт) электропривода горизонтального и наклонного винтового транспортера

$$N_p = \frac{P (L k_c + H) k_s}{367 \eta},$$

где P — производительность транспортера, т/ч; L — длина транспортера по горизонтали, м; k_c — коэффициент сопротивления движению груза (для зернистых грузов $k_c = 1,5 \div 1,6$; для мучнистых и хлопьевидных $k_c = 1,2 \div 1,3$; для кусковых и абразивных $k_c = 1,8 \div 2,0$; для мелкозернистых грузов $k_c = 4$); k_s — коэффициент запаса мощности ($k_s = 1,15 \div 1,25$); η — КПД привода ($\eta = 0,8 \div 0,85$).

3.3.5. Вибрационные транспортные установки

Вибрационные транспортные установки могут перемещать сыпучие грузы в горизонтальном, наклонном (до 20°) и вертикальном направлениях. Эти установки обладают многими значительными преимуществами: возможностью герметизации и устранения пыли транспортируемых материалов, незначительным соприкосновением материала с движущимися частями установки, простотой устройства, малым износом грузонесущих органов и сравнительно невысокой энергоемкостью вибрационных устройств.

Вибрационный транспортер (рис. 3.5) представляет собой металлический желоб 1, закрепленный на подвесках 2 и соединенный с вибраторами 4, которые сообщают колебательное движение грузонесущему желобу с определенными частотой и амплитудой через жесткие связи 3. В результате направленных колебаний находящийся в желобе или трубе груз перемещается в заданном направлении на расстояние до 60 м.

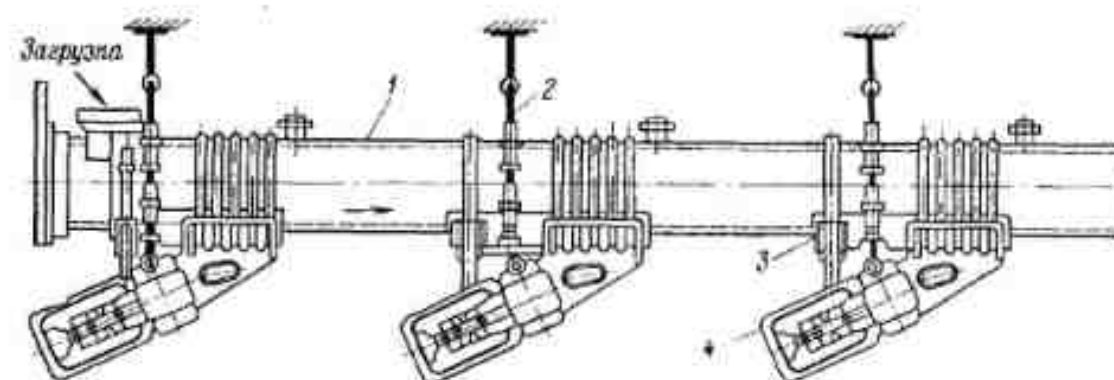


Рис. 3.5. Вибрационный транспортер:

1 — транспортирующий желоб; 2 — подвески; 3 — упругие элементы; 4 — вибраторы

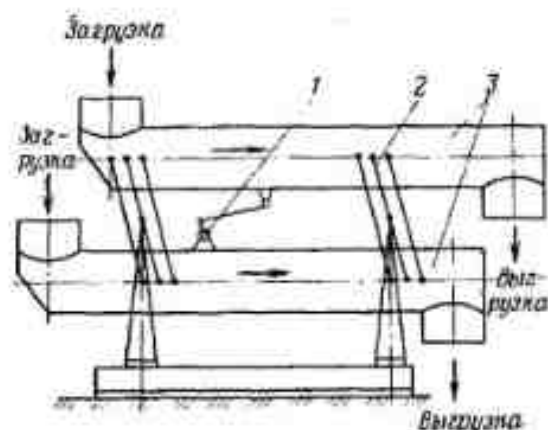


Рис. 3.6. Двухтрубный горизонтальный вибрационный транспортер:

1 — вибратор; 2 — упругие элементы; 3 — транспортирующий желоб

Вибрационный транспортер чаще всего имеет электромеханический привод с частотой колебаний желоба 900—3000 мин⁻¹ и амплитуду 0,5—3 мм. Виброустановка обеспечивает скорость перемещения груза в горизон-

тальном направлении, равную 0,1—0,6 м/с. Производительность вибрационных транспортеров достигает до 150 т/ч.

На рис. 3.6 показан двухтрубный горизонтальный вибрационный транспортер, который может транспортировать одновременно два различных груза при частоте колебаний 650—850 мин⁻¹ с амплитудой 3—6 мм и производительностью от 10 до 120 м³/ч. Транспортер состоит из двух транспортирующих труб, вибратора и упругих элементов и закреплен на станине. Принцип перемещения груза по трубам аналогичен описанному выше. Подобные установки могут быть использованы в микробиологических производствах для транспортировки сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, а также как самостоятельное технологическое оборудование (вибросмесители, виброуплотнители, вибродробилки, вибросистильные установки, вибросушилки, виброохладители, вибропитатели, вибродозаторы, виброфильтры, вибростерилизаторы). Выпускаются следующие типы таких установок: КВ-2; ТГ-160У; 200У, 320У, 400У производительностью от 10 до 120 м³/ч с условным диаметром труб от 160 до 400 мм и длиной транспортера от 20 до 50 м.

Производительность (т/ч) горизонтального вибрационного транспортера

$$P = 3,6 F v \rho K_z,$$

где F — площадь поперечного сечения желоба или трубы, м²; v — средняя скорость перемещения груза по желобам или трубам, м/с ($v = 0,1 \div 0,3$ м/с); ρ — насыпная плотность груза, кг/м³; K_z — коэффициент заполнения поперечного сечения желоба (для прямоугольного или квадратного сечения $K_z = 0,7 \div 0,8$, для круглого $K_z = 0,5 \div 0,65$, для открытых желобов $K_z = 0,6 \div 0,8$. Величина K_z увеличивается от пылевидных и порошкообразных материалов к крупным зернистым и кусковым).

При наклоне транспортера до 12° скорость перемещения уменьшается на каждый градус подъема для порошкообразных грузов на 4—7 % и для зернистых и мелкокусковых на 2—5 %. При перемещении грузов вниз по уклону скорость возрастает на 3—10 % на каждый градус наклона желоба.

Потребная мощность (кВт) электропривода вибротранспортеров

$$N_z = P L e / \eta,$$

где P — производительность транспортера, т/ч; L — длина перемещения

груза, м; e — удельная энергоемкость перемещения, кВт·ч/(т·м) (для транспортеров с балансированным вибратором $e = 0,005 \div 0,008$ кВт·ч/(т·м), для транспортеров с электромагнитным вибратором $e = 0,0035 \div 0,006$, для двухтрубных транспортеров с эксцентриково-шатунным вибратором $e = 0,002 \div 0,005$, для коротких несурьезовешенных транспортеров длиной до 10 м $e = 0,01$ кВт·ч/(т·м); η — КПД привода ($\eta = 0,5 \div 0,6$).

3.3.6. Пневматический транспорт

Пневматическими транспортерами называют устройства перемещения по трубам сыпучих грузов в смеси с воздухом под давлением. В микробиологической промышленности с помощью пневмотранспорта перемещают отруби, солодовые ростки, свекловичный жом, муку, древесные опилки, щепу и др. со склада сырья в цех переработки. Пневматические установки имеют высокую производительность — до 400 т/ч — при дальности перемещения грузов до 100 м и более и на высоту до 100 м.

Преимуществами пневмотранспортных установок по сравнению с механическими являются простота конструкции, надежность эксплуатации, легкость обслуживания, полная герметизация, механизация и автоматизация транспортных операций, гигиенические условия труда и возможность применения установок в любых условиях при сочетании с технологическими операциями и любой расстановкой оборудования. К главному недостатку пневматических установок можно отнести большой расход электроэнергии — до 0,4 кВт·ч на 1 т перемещаемого груза, вызванный тем, что вместе с перемещаемым грузом перемещается большой объем воздуха. Принцип действия пневматических установок основан на движении насыпного груза в потоке воздуха.

Пневматические установки разделяются на всасывающие, нагнетательные и всасывающе-нагнетательные (рис. 3.7).

Во всасывающей установке (рис. 3.7, а) с помощью воздуходувной машины 6 отсасывается воздух, создается разрежение, воздух движется в загрузочное устройство 1 и, проходя сквозь слой сы-

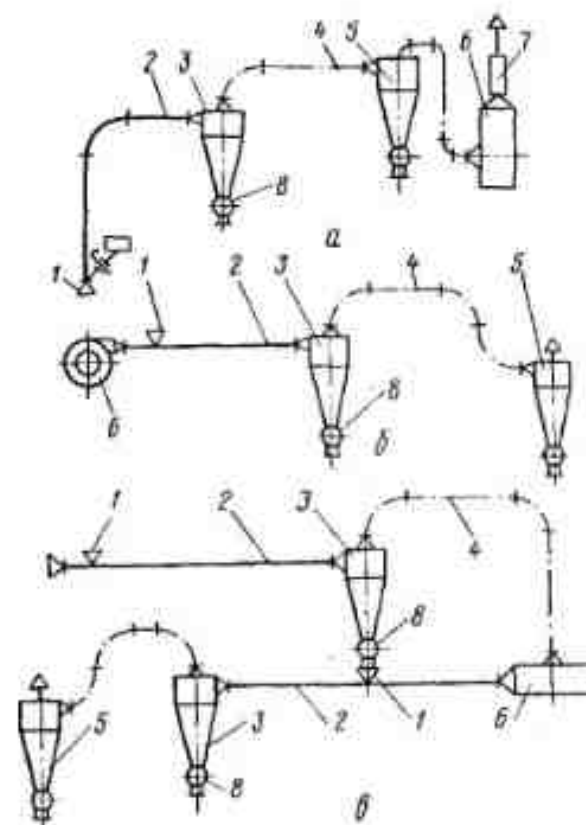


Рис. 3.7. Пневматические транспортные установки:

а — всасывающая; б — нагнетательная; в — всасывающе-нагнетательная; 1 — загрузочное устройство; 2, 4 — трубопровод; 3 — циклон-разделитель; 5 — циклон-очиститель; 6 — воздуходувная машина; 7 — глушитель шума; 8 — шиловый затвор

пучего материала, подхватывает его и перемещает по трубопроводу 2 в циклон-разделитель 3, где материал отделяется, а запыленный воздух поступает через трубопровод 4 в циклон-очиститель 5 и далее выбрасывается воздушной машиной 6 через глушитель шума 7 в атмосферу. Груз из отделителя 3 выводится при помощи шилюзового затвора 8.

Преимущество всасывающих установок заключается в том, что вследствие разрежения в системе исключается возможность пылевыведения, что позволяет использовать их для транспортирования пылеобразующих грузов (отрубей, муки, зерновой лузги, измельченной культуры грибов) к одному или нескольким технологическим аппаратам. К недостаткам всасывающей установки можно отнести невозможность создания высокого перепада давления (до 50—60 кПа), что ограничивает расстояние перемещения груза и необходимость герметизации в местах вывода груза из системы.

Нагнетательные транспортные установки (рис. 3.7, б) работают следующим образом. Воздушная машина нагнетает воздух в систему пневматического транспортера, создавая в ней давление воздуха больше атмосферного (наибольшее — в месте загрузки, наименьшее — в месте разгрузки). Сжатый воздух, проходя по трубопроводу 2, по пути захватывает сыпучий груз, поступающий через загрузочное устройство 1, и направляет его в отделитель 3. Далее все операции происходят так же, как и во всасывающей пневматической установке, описанной выше. В нагнетательных транспортных установках избыточное давление в трубопроводе может достигать 400—600 кПа, что позволяет перемещать материалы на расстояние до 300 м и более в одну или несколько точек разгрузки.

Всасывающе-нагнетательные установки (рис. 3.7, в) позволяют сочетать преимущества как всасывающих, так и нагнетательных установок. При транспортировании сыпучих грузов в пневмоустановках скорость воздуха составляет от 6 до 35 м/с, при этом допускается концентрация смеси (отношение величины массового расхода транспортируемого материала к массовому расходу воздуха) 25—30 кг/кг.

Расчет пневматических транспортных установок. При расчете примерной производительности пневматического транспорта (кг/с или т/ч) следует принимать во внимание неравномерность работы установки в течение суток.

$$P_c = G_m K_n K_{пр}, \text{ или } P_q = 3,6 G_m K_n K_{пр},$$

где G_m — масса перемещаемого материала, кг/с; K_n — коэффициент, учитывающий неравномерность подачи материала ($K_n = 1,5$); $K_{пр}$ — коэффициент неравномерности, определяемый условиями технологического процесса ($K_{пр} = 1,25$).

Приведенная длина трубопровода (м)

$$L_{пр} = \sum L_r + \sum L_v + \sum L_{эк} + \sum L_{зп},$$

где $\sum L_r$ — сумма длин горизонтальных участков, м; $\sum L_v$ — сумма длин вертикальных участков, м; $\sum L_{эк}$ — сумма длин эквивалентных колен, м; $\sum L_{зп}$ — сумма длин эквивалентных переключателям трубопроводов, м (эквивалентная длина двухходового переключателя принимается 8 м, длина задвижки затвора — 10 м).

Длина трубопроводов $L_{эк}$, эквивалентных коленам, зависит от радиуса кривизны колена R и внутреннего диаметра трубы d (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Длина трубопроводов, эквивалентных коленам, м

Груз	R/d			
	4	6	10	20
Пылевидный	4—8	5—10	6—12	8—10
Зерновой однородный	—	8—10	12—16	16—20
Мелкокусковой неоднородный	—	—	28—35	38—45
Крупнокусковой неоднородный	—	—	60—80	70—90

Движение в трубопроводе материала осуществляется потоком воздуха, скорость которого должна быть больше скорости витания частиц материала ($v > v_v$). Скорость воздуха для таких сыпучих материалов, как отруби, свекловичный жом, лузга овсяная и гречневая, солодовые ростки, измельченная культура гриба *Asp.* огузае и др., принимается в пределах от 16 до 23 м/с. Скорости витания некоторых материалов приведены в табл. 3.1.

Скорость воздуха (м/с) при начале всасывания и нагнетания материала

$$v = a \sqrt{\rho/1000} + K_m L_{пр}^2,$$

где a — коэффициент, учитывающий крупность частиц материала; ρ — плотность материала, кг/м³ (см. табл. 3.1); K_m — коэффициент, учитывающий свойства материала [$K_m = (2 \div 5) \cdot 10^{-6}$]; $L_{пр}$ — приведенная длина трубопровода, м. Для всасывающих установок слагаемое $K_m L_{пр}^2$ не учитывается.

Величины коэффициента крупности a представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4. Коэффициенты крупности для различных грузов

Груз	Наибольшая крупность частиц, мм	Коэффициент a
Пылевидный и порошкообразный	0,001—1,0	10—16
Зернистый однородный	1—10	17—20
Мелкокусковой однородный	10—20	17—22
Среднекусковой однородный	10—80	22—25

Для устойчивой работы установки рассчитанную скорость воздуха увеличивают на 10—20 %.

Массовая доля материала в смеси с воздухом

$$\mu = P_m / G_{в.м.}$$

где P_m — производительность установки, кг/ч; $G_{в.м.}$ — массовый расход воздуха, кг/ч.

Массовая доля материала в смеси с воздухом определяется в зависимости от приведенной длины трубопровода $L_{пр}$:

для легкосыпучего сухого материала

$L_{пр}, м$	0—200	200—400	400—600	600—800	800—1000
μ	70—40	40—25	25—20	20—15	15—12

для зерна и подобного материала

$L_{пр}, м$	0—25	25—50	50—75	75—100
μ	35—20	20—13	13—10	10—8,5

Расход воздуха ($м^3/с$) на транспортирование

$$G_a = P_n / 3,6 \rho_a \mu,$$

где P_n — производительность установки, т/ч; ρ_a — плотность воздуха, кг/м³ (для приблизительных расчетов можно принимать $\rho_a = 1,2$ кг/м³); μ — массовая доля материала в смеси с воздухом.

Диаметр трубопровода (м)

$$d = \sqrt{4G_a / \pi v},$$

где v — скорость движения продукта с воздухом, м/с.

Мощность (кВт) электродвигателя воздуходувной машины

$$N_d = \frac{A_m G_m}{60 \cdot 102 \eta},$$

где A_m — работа, затрачиваемая на сжатие 1 м³ воздуха и зависящая от характера процесса сжатия в воздуходувной машине (изотермическое, адиабатическое или политропическое), Дж/м³; G_m — производительность воздуходувной машины, м³/мин (можно принимать $G_m = 60 G_a$ или по паспортным данным машины); η — КПД воздуходувной машины ($\eta = 0,55 \div 0,75$).

Работа, затрачиваемая на сжатие воздуха воздуходувной машины,

$$A_m = 230300 p_0 \lg (p_m / p_0),$$

где p_0 — атмосферное давление, кПа ($p_0 = 100$ кПа); p_m — давление воздуха, создаваемое воздуходувной машиной, кПа.

$$p_m = \alpha p_n + p_b,$$

где α — коэффициент, учитывающий падение давления в питателе ($\alpha = 1,15 \div 1,25$); p_n — давление в начале трубопровода питательной установки или в конечной всасывающей точке (у сопла), кПа; p_b — падение давления в воздухопроводе от воздуходувной машины до питателя, кПа ($p_b = 20 \div 30$ кПа).

$$p_n = 10^2 \sqrt{1 \pm \mu v^2 L_{пр} \beta / d \pm H \rho'_a \mu / 10^2},$$

где μ — массовая доля материала; v — скорость движения продукта с воздухом, м/с; $L_{пр}$ — длина трубопровода, м; β — коэффициент; H — высота подъема смеси, м (при движении материала в магнетательных установках вверх — со знаком плюс, вниз — со знаком минус; во всасывающих — наоборот); ρ'_a — плотность воздуха в трубопроводе, кг/м³ (в магнетательных установках $\rho'_a = 1,6 \div 2,0$, во всасывающих $\rho'_a = 0,8 \div 1,0$).

Коэффициент β в магнетательных установках в зависимости от величины $s = \mu v^2 L_{пр} / d$ приведены ниже.

$s \cdot 10^6$	1	20	40	60	80	100
$\beta \cdot 10^{-7}$	15,0	4,0	2,5	2,0	1,8	1,5

Во всасывающих установках $\beta = 1,5 \cdot 10^{-7}$.

Кроме рассмотренных транспортных установок для перемещения сыпучих грузов в микробиологической промышленности ограничено применяются и другие виды транспортных устройств: люлечные элеваторы, аэрозольные установки, пластинчатые и роликовые транспортеры, грузовые лифты и др. Подробные сведения о различных транспортных установках приведены в специальной литературе.

Глава 4. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

При производстве биологически активных веществ необходимо осуществлять многочисленные вспомогательные операции. При этом правильность выбора вспомогательного оборудования существенно влияет на эффективность всего производства.

Современное микробиологическое производство содержит значительное количество вспомогательного оборудования различного назначения. К вспомогательным видам оборудования относятся: реакторы-смесители для смешивания компонентов питательных сред, резервуары для хранения жидких продуктов, мерники жидких сред, сборники-приемники для приема и кратковременного хранения жидких продуктов (культуральной жидкости, ультраконцентратов, пермеатов), насосы для подачи жидких растворов, дозаторы и питатели сыпучих и жидких сред, машины для механической мойки оборудования, воздухоподогреватели, компрессоры и др.

Тип вспомогательного оборудования, материал для его изготовления, единичная емкость, количество штуцеров, люков, обогревательных или охлаждающих рубашек, перемешивающих устройств и т. д. зависят от конкретного назначения аппарата, технологических и других требований производства.

4.1. ЕМКОСТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

К емкостному оборудованию, применяемому на микробиологических предприятиях для хранения жидких сред, относятся резервуары и емкостные аппараты.

Для длительного хранения жидких продуктов чаще применяют резервуары горизонтального типа, чем вертикального. Жидкие парафины, свекловичную мелассу, метанол, этанол, ацетон и другое сырье, необходимое для получения продуктов микробиологического синтеза, хранят в резервуарах большой единичной емкости — от 100 до 10 000 м³.

Для поддержания однородности сырья резервуары снабжены переливными трубами, расположенными на различных уровнях, и системой гомогенизации.

Схема резервуара для хранения больших количеств жидкого сырья представлена на рис. 4.1. Резервуары снабжены штуцерами: для загрузки сырья и подачи сжатого воздуха, манометра, предохранительного клапана, воздушника, указателя уровня, спуска остатка продукта, трубой перекачки и люками. Резервуары оборудованы подогревателями, внутрь которых подается пар.

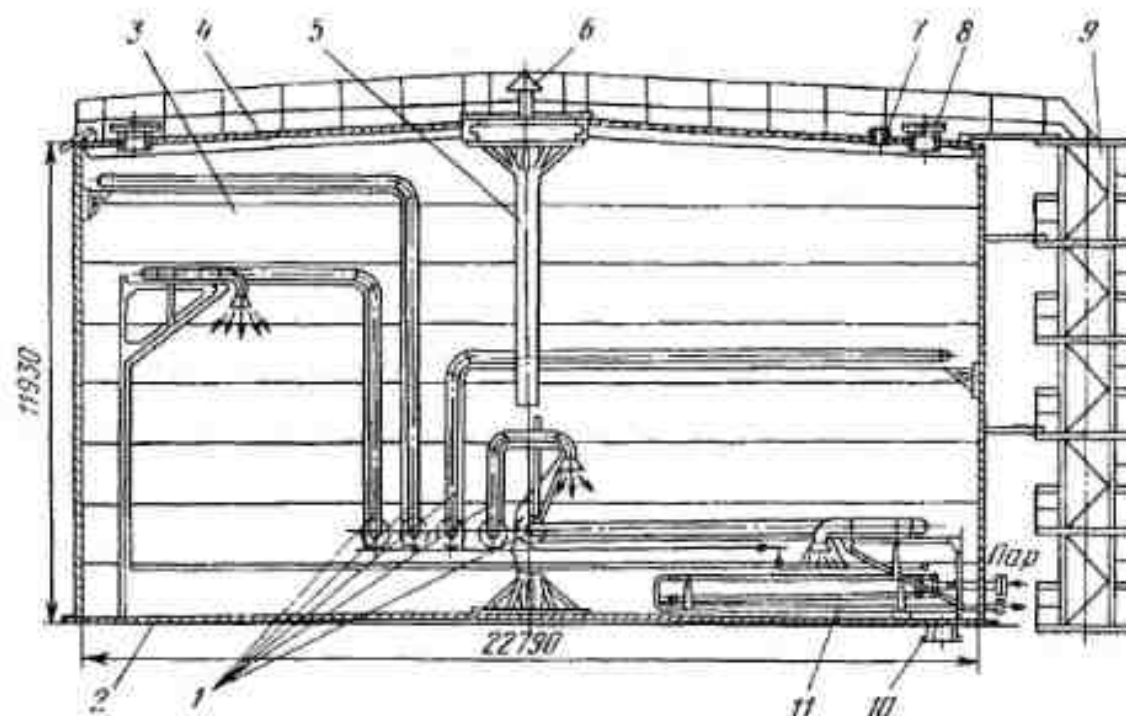


Рис. 4.1. Резервуар-хранилище жидкого сырья:

1 — гомогенизационная система; 2 — днище; 3 — корпус; 4 — крыша; 5 — центральная стойка; 6 — воздушник; 7 — штуцер для указателя уровня; 8 — люк; 9 — лестница; 10 — штуцер для слива жидкого сырья; 11 — нагреватель.

Выдача жидких сред может осуществляться самотеком, а также перекачиванием сжатым воздухом или инертным газом при давлении от 0,3 до 1,6 МПа.

На заводах микробиологической промышленности применяются резервуары объемом 1, 2, 3, 5, 10, 50, 100, 250, 500, 2000 до 3000 м³.

Для временного хранения жидкого сырья, растворов солей, компонентов питательных сред, экстрактов культуральных жидкостей, фугатов, ультраконцентратов, пермеатов, других промежуточных продуктов производства, а также для осуществления некоторых технологических процессов применяются емкостные стальные сварные аппараты с рубашками и перемешивающими устройствами.

Основными характеристиками емкостных аппаратов являются их вместимость, рабочее давление и материал, из которого аппарат изготовлен. Емкостные аппараты могут быть цельносварными или со съемными крышками; они могут иметь рубашки или другие внутренние элементы для теплообмена, люки для загрузки и выгрузки, а также штуцера нетехнологического назначения для установления приборов контроля и регулирования параметров процесса. Емкостные аппараты бывают вертикального или горизонтального типа. Вертикальные емкости, как правило, имеют отношение высоты к диаметру, равное 5.

Условное обозначение аппаратов включает буквы и цифры. Буквенные обозначения соответствуют шифру типа корпуса аппа-

рата. Первые буквы обозначают: Г — горизонтальный, В — вертикальный, вторая и третья буквы обозначают тип днища; Э — эллиптическое, К — коническое, П — плоское (вторая буква в обозначении вертикальных аппаратов определяет нижнее днище, а третья — верхнее). Цифры после букв обозначают наличие или отсутствие разъема: 1 — цельносварной (без разъема); 2 — разъемный. Следующие цифры указывают на наличие внутренних устройств и обогрева: 1 — без рубашки и без внутренних устройств; 2 — с трубным пучком; 3 — с рубашкой; 4 — со змеевиком; 6 — с погружным насосом. Цифры, стоящие после второго тире, обозначают номинальный объем аппарата (м^3), а последнее число — рабочее давление (МПа). Например, обозначение ГЭЭ1—2—50—06 соответствует горизонтальному аппарату с эллиптическими днищами, цельносварному, с трубным пучком, номинальным объемом 50 м^3 , рабочим давлением в аппарате $0,6 \text{ МПа}$.

Вертикальные емкостные аппараты могут быть с двумя эллиптическими днищами, с эллиптическим днищем и крышкой емкостью от $0,01$ до 200 м^3 ; вертикальные с эллиптическим и плоскими днищами, а также с эллиптическим днищем и плоской крышкой емкостью от $0,01$ до 32 м^3 ; вертикального и горизонтального типа с двумя плоскими днищами, а также с плоским днищем и крышкой емкостью от $0,01$ до 100 м^3 ; вертикальные с плоскими и сферическими днищами, а также с плоским днищем и сферической крышкой емкостью от 1 до 32 м^3 ; горизонтальные с двумя коническими днищами с углом при вершине 140° емкостью от 4 до 100 м^3 и вертикальные с коническим днищем и эллиптической крышкой емкостью от $0,04$ до 50 м^3 . Емкостные аппараты вертикального типа работают под давлением от $0,6$ до $1,6 \text{ МПа}$, горизонтальные цельносварные аппараты с коническим неотбортованным и верхним плоским днищами — не более $0,07 \text{ МПа}$.

Все емкостные аппараты, за исключением вертикальных с верхними плоскими днищами можно эксплуатировать с любыми рабочими средами при плотности среды 1600 кг/м^3 , плотности теплоносителя (для аппаратов с рубашкой) 1200 кг/м^3 , толщине теплоизоляции 60 мм и плотности теплоизоляции 400 кг/м^3 .

Выбор материала аппарата производят с учетом его коррозионной стойкости в рабочей среде и влияния металла на биологически активные вещества в процессе производства.

Емкостные аппараты снабжены следующими технологическими штуцерами: входа среды, выхода среды, перелива, трубы перекачивания, входа и выхода теплоносителя, входа и выхода воздуха, а также штуцерами для приборов контроля — манометра, предохранительного клапана, указателя уровня, термометра (рис. 4.2) и др.

Емкостные аппараты, внутри которых расположены трубный пучок и погружной насос снабжены соответствующими дополнительными штуцерами. Номинальные объемы емкостных вертикальных аппаратов составляют $1; 3,2; 4,2; 5; 6,3; 10; 16; 25; 40; 50; 63; 80$ и 100 м^3 . Они рассчитаны для эксплуатации при плот-

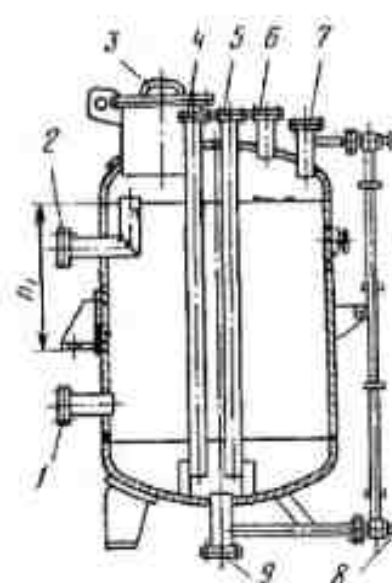


Рис. 4.2. Вертикальный цельносварной емкостный аппарат с эллиптическими днищами:

1 — штуцер для выхода среды; 2 — перелив среды; 3 — люк; 4 — штуцер для подачи среды; 5 — штуцер для установки предохранительного клапана; 6 — штуцер для установки указателя уровня; 7 — установка колонки указателя трубчатого уровня; 8 — уровень; 9 — штуцер для спуска среды

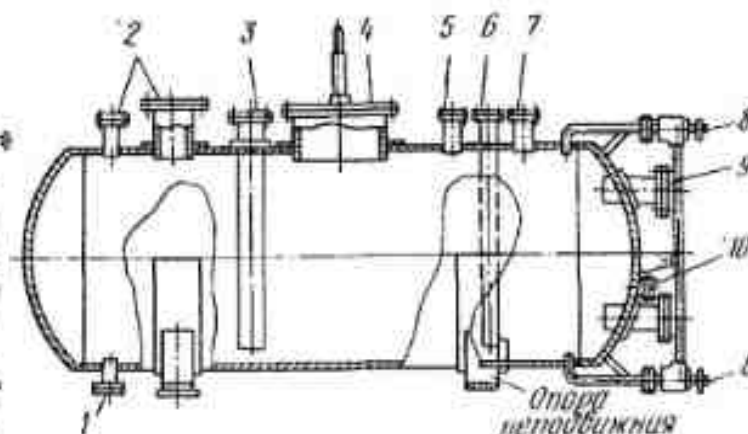


Рис. 4.3. Горизонтальный цельносварной аппарат с эллиптическим днищем:

1 — штуцер для спуска среды; 2 — резервные штуцера; 3 — штуцер для подачи среды; 4 — люк; 5 — штуцер для предохранительного клапана; 6 — штуцер для установки указателя уровня; 7 — штуцер для установки манометра; 8 — штуцер для установки колонки указателя уровня трубчатого типа; 9 — штуцер для перелива среды; 10 — штуцер для термометра

ности рабочих сред до 1600 кг/м^3 , плотности теплоносителя 1200 кг/м^3 и при избыточном давлении в аппарате не более $0,6 \text{ МПа}$.

Номинальная емкость цельносварных аппаратов горизонтального типа (рис. 4.3) с эллиптическим днищем без внутреннего трубного пучка $6,3; 10; 16; 25; 40; 50; 63; 80$ и 100 м^3 . Они рассчитаны для хранения рабочих сред плотностью 1600 кг/м^3 при избыточном давлении в аппарате $0,6; 1$ и $1,6 \text{ МПа}$. Коэффициент заполнения объема аппарата составляет до $0,9$ от номинального объема.

Горизонтальные цельносварные аппараты с коническими неотбортованными днищами работают при давлении до $0,07 \text{ МПа}$.

Вертикальные цельносварные аппараты с нижним коническим (90°) неотбортованным и верхним плоским днищем предназначены для приема, хранения и выдачи жидких невзрывоопасных, невзрывопожарных и нетоксичных сред при атмосферном давлении и могут быть использованы в качестве отстойников. Аппараты могут быть снабжены устройством как для периодического, так и постоянного подогрева или охлаждения.

В микробиологической промышленности большие перспективы имеет использование эмалированной аппаратуры, в том числе горизонтальных и вертикальных сборников, резервуаров и смесителей с механическими перемешивающими устройствами. В настоящее время изготавливается специальное эмалированное оборудование с термостойкими покрытиями для сред с рабочей температурой до 300°C и повышенной абразивностью. Они предназначены

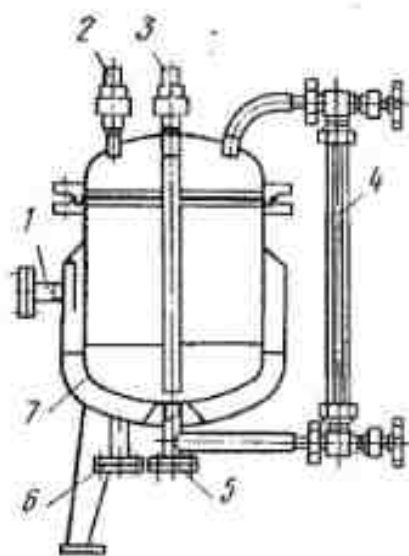


Рис. 4.4. Вертикальный мерник:

1 — штуцер для выхода теплоносителя; 2 — установка колонки манометра; 3 — труба перекачивания; 4 — указатель уровня; 5 — штуцер для выхода продукта; 6 — штуцер для входа теплоносителя; 7 — рубашка

для обработки и хранения взрывоопасных продуктов и ядовитых веществ. Незамалированные детали, соприкасающиеся с обрабатываемой средой (трубы перекачивания, детали торцевых уплотнений и др.), изготавливают из коррозионностойких сталей и сплавов.

Эмалированная аппаратура пригодна для работы со средами органических и неорганических кислот (за исключением плавиковой, кремнефтористоводородной), их солей и другими жидкими, нейтральными или газообразными средами, а также со щелочными средами при различной температуре в зависимости от pH среды.

Сборники, резервуары и другие емкостные аппараты предназначены для приема и хранения продуктов, а также для проведения различных физико-химических процессов. Аппараты могут быть цельносварными или с отъемными крышками, с рубашками или без них. Объем выпускаемых эмалированных аппаратов составляет от 0,01 до 50 м³, мерников — от 0,01 до 0,16 м³.

Мерники предназначены для приема, хранения и выдачи жидкостей и рассчитаны на максимальное рабочее давление до 0,6 МПа. В зависимости от температурного режима аппараты могут быть с рубашкой или без рубашки.

Корпус аппаратов изготавливают из углеродистой стали ВМСт3 или коррозионностойких сталей X18H10T, X17H13M2T, OX22H5T, а также из двухслойной стали.

На рис. 4.4 представлен вертикальный мерник с рубашкой. Мерник снабжен штуцерами для входа и выхода продукта, теплоносителя, воздуха; трубой перекачивания, указателем уровня; колонками для установки измерительных приборов и резервным штуцером.

На рис. 4.4 представлен вертикальный мерник с рубашкой. Мерник снабжен штуцерами для входа и выхода продукта, теплоносителя, воздуха; трубой перекачивания, указателем уровня; колонками для установки измерительных приборов и резервным штуцером.

Номинальная емкость мерников, м³	0,01;	0,025;	0,063;	0,1;	0,25;	0,63
Поверхность теплообмена, м²	0,15;	0,3;	0,55;	0,83;	1,55;	2,8

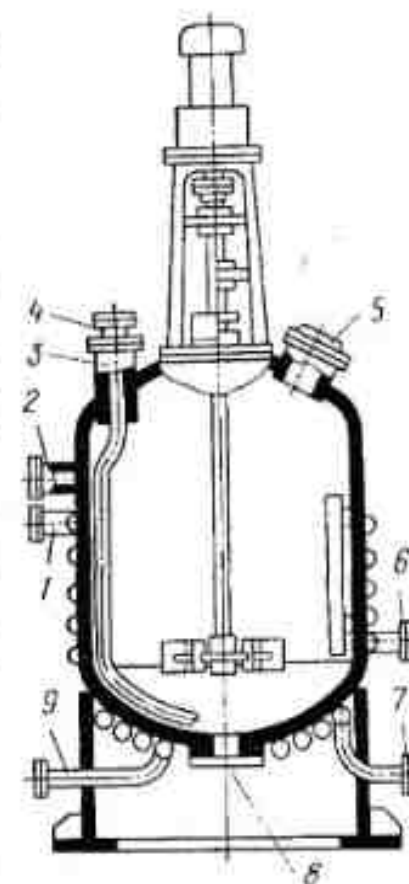
4.2. РЕАКТОРЫ

Стальные или чугуно-эмалированные реакторы предназначены для проведения различных физико-химических процессов.

Реакторы-смесители представляют собой вертикальные цилиндрические аппараты объемом от 0,1 до 100 м³ и более, снабженные гладкой приварной пароводяной рубашкой либо рубашкой из полутруб (рис. 4.5).

Рис. 4.5. Вертикальный реактор-смеситель:

1 — штуцер для входа теплоносителя; 2 — перелив продукта; 3 — труба перекачивания; 4 — технологический штуцер; 5 — люк; 6 — выход теплоносителя; 7 — вход теплоносителя; 8 — выход продукта; 9 — выход теплоносителя



Внутри аппарата расположено перемешивающее устройство с турбинной открытой мешалкой.

При применении аппаратов с рубашкой из полутруб допускается рабочее давление до 1,6 МПа, в гладких приварных рубашках — не более 0,4 МПа. В рубашку или змеевик могут поступать водопроводная или обратная вода, рассол, насыщенный водяной пар или высокотемпературный органический теплоноситель. Реакторы-смесители могут быть разъемными или цельносварными с эллиптическим днищем и крышкой. На аппарате расположены штуцера для входа теплоносителя, перелива продукта, для трубы перекачивания, технологический штуцер, загрузочный люк, штуцера для входа и выхода теплоносителя и продукта, предохранительный клапан, штуцера для термометра. После подачи в аппарат заданного количества воды производится загрузка сыпучих компонентов с помощью гибкого механического транспортера. Нагрев среды до заданной температуры производится автоматическими средствами управления.

Частота вращения мешалки составляет 0,25—3,33 с⁻¹ в зависимости от видов перемешивающего устройства и свойств смешиваемых компонентов.

При установлении мешалки турбинного типа частота вращения 3—3,3 с⁻¹, рамного типа — 0,33—1 с⁻¹.

Привод мешалки осуществляется от электродвигателя нормального или взрывозащищенного через вертикальный редуктор.

Аппараты изготавливают с сальниковыми уплотнениями для нетоксичных и невзрывоопасных сред, работающих при атмосферном давлении, и с торцевыми уплотнениями типа ТДМ при избыточном давлении до 0,6 МПа или под вакуумом до 40 кПа для токсичных, пожароопасных и взрывоопасных сред.

4.3. МАЛОГАБАРИТНАЯ АППАРАТУРА СО ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫМ ЭЛЕКТРООБОГРЕВОМ

К такой аппаратуре относятся реакторы и автоклавы со взрывозащищенным электрообогревом, которые применяются в микробиологической промышленности для проведения различных тех-

нологических процессов во взрывоопасных жидких однофазных и многофазных средах, а также в помещениях повышенной взрывоопасности.

Рабочая среда в корпусе аппарата — агрессивная, пожаро- и взрывоопасная или токсичная жидкость, эмульсия, газожидкостная смесь или суспензия с концентрацией твердой фазы не более 30 %.

Реакторы емкостью от 25 до 630 л и автоклавы емкостью от 10 до 250 л работают под давлением 0,6 и 10 МПа соответственно. Защита электронагревательных устройств реакторов и автоклавов от взрыва обеспечивается продувкой чистым воздухом или инертным газом под избыточным давлением от 0,02 до 0,05 МПа, который подается между корпусом и стенкой аппарата.

При падении избыточного давления в кожухе ниже 0,01 МПа происходит автоматическое выключение электронагревательных элементов. Аппараты снабжены автоматическими блокировками, исключающими возможность включения электрообогрева аппарата без предварительной продувки чистым воздухом или инертным газом в пятикратном объеме кожуха электронагревательного устройства, а также возможность работы при температуре среды в аппарате выше заданной по технологическому регламенту, но не выше 200 °С для реакторов и 250 °С для автоклавов.

Корпуса аппаратов изготавливают из коррозионностойких высоколегированных никелем сталей 12Х18Н10Т и 10Х17Н13М2Т.

Реакторы снабжены якорными или винтовыми перемешивающими устройствами с двойным уплотнением вала, допускающими работу при разрежении до 2666 Па.

Аппараты снабжены трубой перекачивания; штуцерами для нижнего спуска, а также технологическими штуцерами для загрузки субстрата, для входа и выхода охлаждающей жидкости, для установления манометров, поверхностной термопары, предохранительного клапана; загрузочным и смотровым люками, а также люком для подвода инертного газа.

4.4. НАСОСЫ

Насосами называют машины, предназначенные для создания и поддержания постоянного потока жидкости. Классификация насосов приведена ниже.

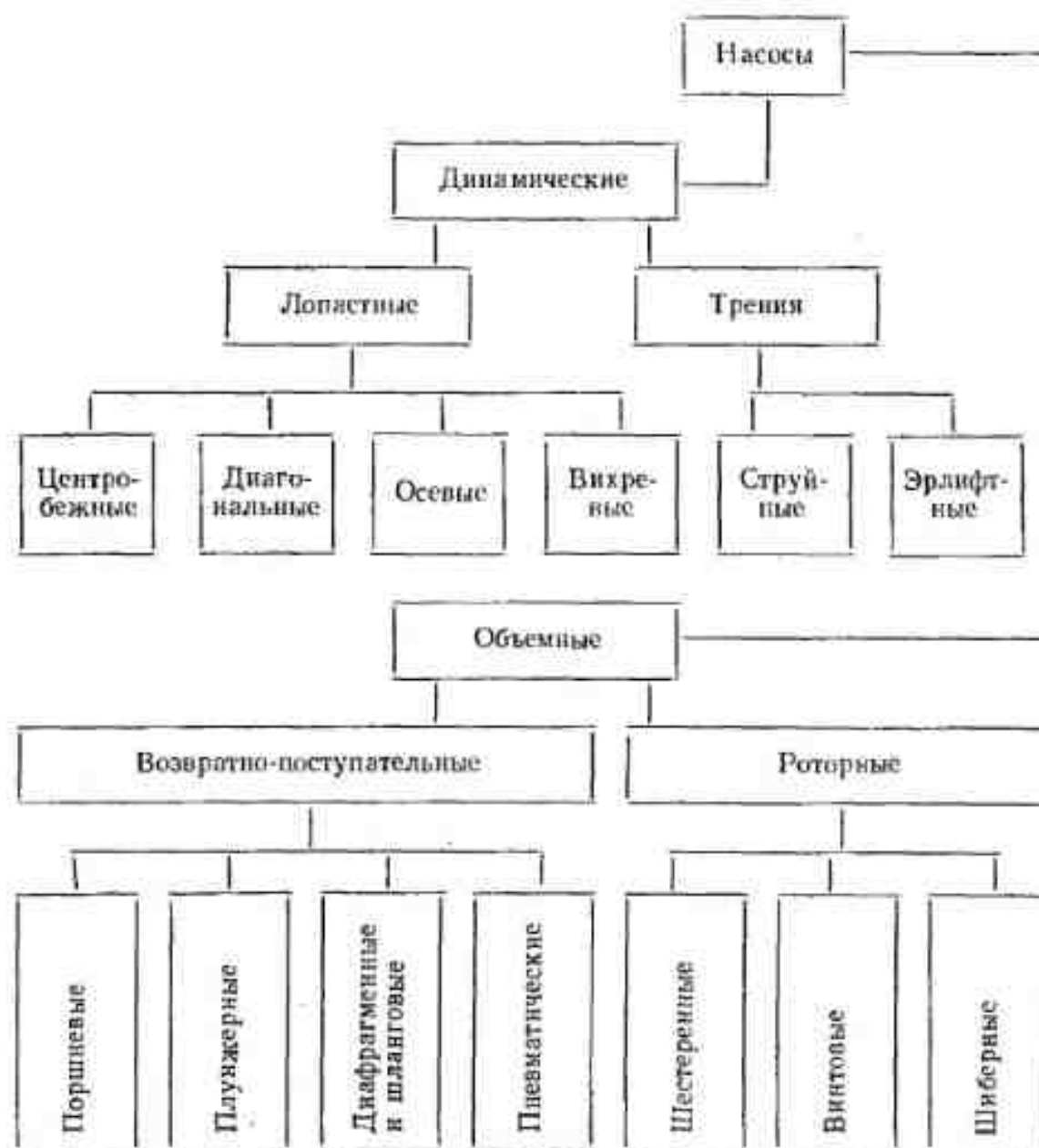
Насосы разделяют на два основных класса: динамические и объемные.

К динамическим относятся насосы, в которых происходит преобразование энергии под влиянием динамического взаимодействия между потоком жидкости и рабочими частями. К объемным относятся насосы, в которых перемещение жидкости происходит в результате периодического изменения объема камеры при возвратно-поступательном или вращательном движении рабочего органа.

Основными характеристиками работы насосов являются: про-

изводительность, напор, потребляемая мощность, КПД, частота вращения ротора, допустимая высота всасывания.

Классификация насосов



4.4.1. Лопастные насосы

Современные лопастные насосы общего применения для подачи воды при температуре не выше 70—100 °С имеют производительность от 1,5 до 5000 л/с, напор — от 5 до 800 м и мощность электродвигателя — от 0,5 до 1500 кВт. К этим насосам относятся следующие виды: центробежные, вертикальные осевые, радиально-осевые (диагональные) и вихревые.

Насосы центробежные типа К. Центробежные насосы могут быть одноступенчатыми и многоступенчатыми с колесами одностороннего

и двустороннего входа, горизонтальными и вертикальными. Так, при последовательном соединении колес, когда все колеса насажены на один вал, общий напор равен сумме напоров всех ступеней, а подача насоса равна подаче одной ступени. При параллельном соединении колес в многопоточных насосах производительность насоса равна сумме подач каждого колеса, и поэтому они применяются для перекачивания больших количеств жидкости, а напор равен напору одной ступени.

Преимущества центробежных насосов — возможность непосредственного соединения с быстроходным электродвигателем, паровой или газовой турбиной, равномерность потока, малые габариты, масса и стоимость. К недостаткам следует отнести малый КПД при малой подаче и большом напоре, понижение КПД при перекачивании вязких жидкостей. Современные лопастные насосы могут подавать до $25 \text{ м}^3/\text{с}$ и обеспечивать давление нагнетания до 45 МПа . Простейшим центробежным насосом является одноступенчатый насос типа К, в котором рабочее колесо расположено на консоли вала.

Горизонтальный насос консольного типа (рис. 4.6) состоит из рабочего колеса 1, укрепленного на конце вала 2; спиральной камеры 3 с напорным патрубком НП, закрепленной на опорной раме 4; крышки 5, отлитой вместе с входным патрубком ВП. Вал насоса крепится в шариковых подшипниках 6 и 7. На конце вала насажена муфта 8, соединенная с муфтой 9, насаживаемой на конец вала электродвигателя. Для уменьшения протечек из спиральной камеры 3 во входной патрубок ВП установлено кольцевое уплотнение 10, а для снижения осевого усилия на рабочее колесо — второе кольцевое уплотнение 11 с отверстием 12. Для уплотнения вала применен сальник. Между сальниковой набивкой 13 вставлено металлическое распорное кольцо 14, к которому через отвер-

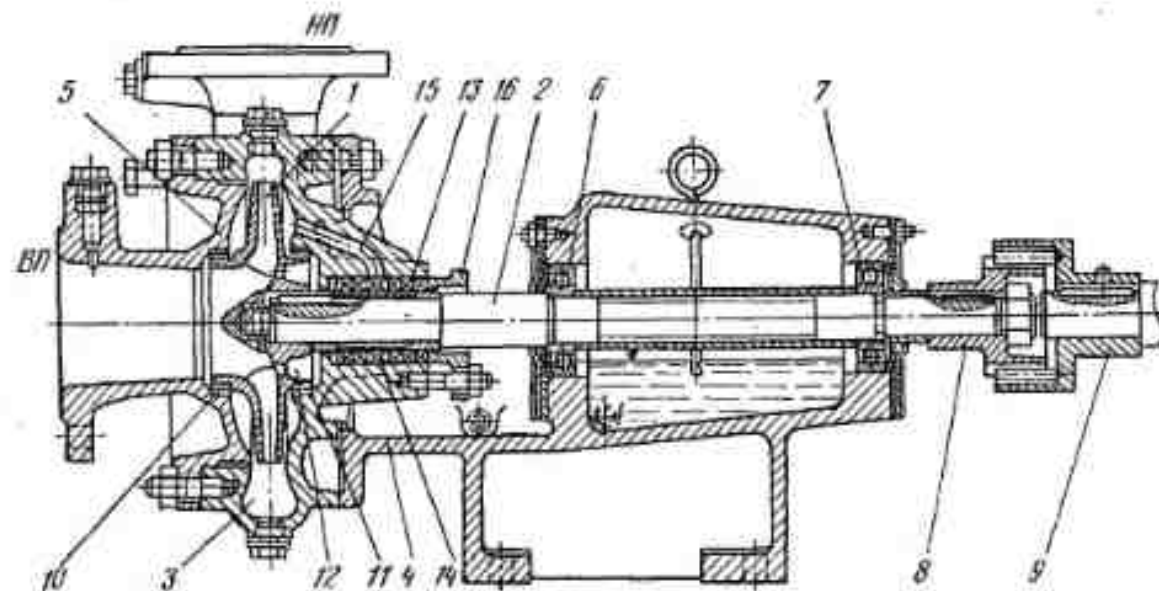


Рис. 4.6. Консольный центробежный насос типа К

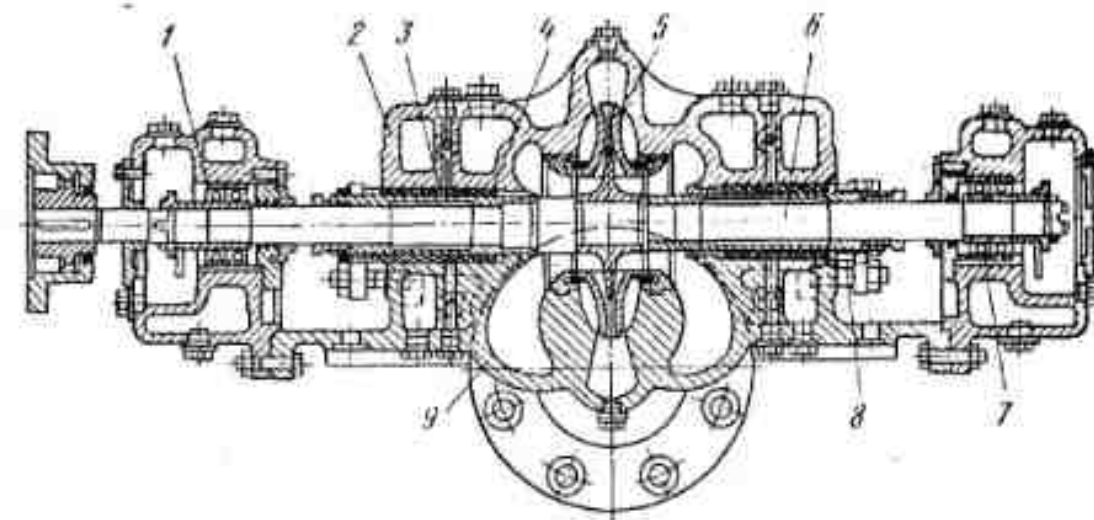


Рис. 4.7. Центробежный насос с двусторонним входом жидкости:

1 — радиальный подшипник; 2 — верхняя часть корпуса; 3 — фонарное кольцо; 4 — защитная сменная гильза; 5 — рабочее колесо; 6 — вал; 7 — радиально-упорный подшипник; 8 — нажимная втулка; 9 — нижняя часть корпуса

стие 15 подводится вода под давлением из спиральной камеры, благодаря чему исключается возможность проникновения воздуха в камеру рабочего колеса. Сальник затягивается нажимной крышкой 16 с помощью болтов. Насосы этого типа рассчитаны на подачу $10\text{--}360 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напор в пределах $10\text{--}100 \text{ м}$. Общий КПД насоса равен $50\text{--}84 \%$.

Насосы центробежные двусторонние типа Д. Горизонтальные одноступенчатые насосы с рабочим колесом, имеющим двусторонний вход, предназначены для перекачивания воды и чистых неагрессивных жидкостей. Подача этих насосов составляет от 160 до $12000 \text{ м}^3/\text{ч}$ при напоре от 10 до 102 м .

Всасывающий и напорный патрубки насоса расположены горизонтально в нижней части корпуса и направлены в противоположные стороны под углом 90° к оси насоса (рис. 4.7).

Насосы центробежные вертикальные типа В предназначены для перекачивания чистой воды. Подача этих насосов составляет от 4800 до $54\,500 \text{ м}^3/\text{ч}$, создаваемый напор от 25 до 90 м .

Насосы центробежные многоступенчатые. Многоступенчатые насосы состоят из нескольких рабочих колес, вращающихся на одном валу в общем корпусе.

Центробежные многоступенчатые секционные насосы предназначены для перекачки чистой воды с содержанием механических примесей до $0,5 \%$ и размером частиц до $0,2 \text{ мм}$ и других неагрессивных сходных с водой жидкостей.

Подача насосов может быть от 6 до $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, а развиваемый напор — от 40 до 2000 м .

Насосы центробежные скважинные для воды с погружным электродвигателем. Эти насосы изготавливаются одно- и многоступенчатыми и применяются для подъема воды с содержанием механических примесей не более $0,01 \%$. Подача составляет от $1,1$ до $730 \text{ м}^3/\text{ч}$, напор — от 13 до 730 м вод. ст.

Центробежные насосы для подачи агрессивных сред. В микробиологической промышленности широко применяются центробежные насосы, предназначенные для работы в условиях агрессивных растворов. К ним относятся: консольные насосы на отдельной стойке; химические консольные типа Х; химические консольные для перекачивания жидкостей с твердыми включениями типа АХ; химические моноблочные типа ХМ; химические погружные типа ХП; химические погружные для перекачивания жидкостей с твердыми включениями типа ХПА; химические с обогревом корпуса типа ХО; химические погружные для перекачивания жидкостей с твердыми включениями и с обогревом корпуса типа ХПАО; химические погружные для перекачивания жидкостей с твердыми включениями и суспензий типа ПХП.

Характеристики различных типов химических насосов представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Техническая характеристика насосов, применяемых при производстве БВК

Марка насоса	Производительность, м³/ч	Напор, м вод. ст.	Перекачиваемая среда	Мощность, кВт	Частота вращения, с⁻¹
5X-12E-1a	138,5	37	Кислая	40	48,3
3X-9D-41	45	31	Серниая кислота		
8X-12K-2Г	176—335	23,4—22,8	Щелочная		
5X-12K-2	119—198	39,6—42,2	»	55	48,3
8X-12K-1	200—380	32,8—23,5	Слабокислая	55	24,1
4X-12Д	68—108	37—26	»	16—19	
8КБ-12	170—280	21—32	»	40	24,1
6КБ-8	110—190	36,5—18,0	»	28	24,1
ЦНГ-70М-2	8	35,0	Аммиачная	2,8	46,6
8X-6-K-1	288	72,0	Щелочная	125	24,5
8X-9E-1	200—380	46—36	Слабокислая	75	24,1

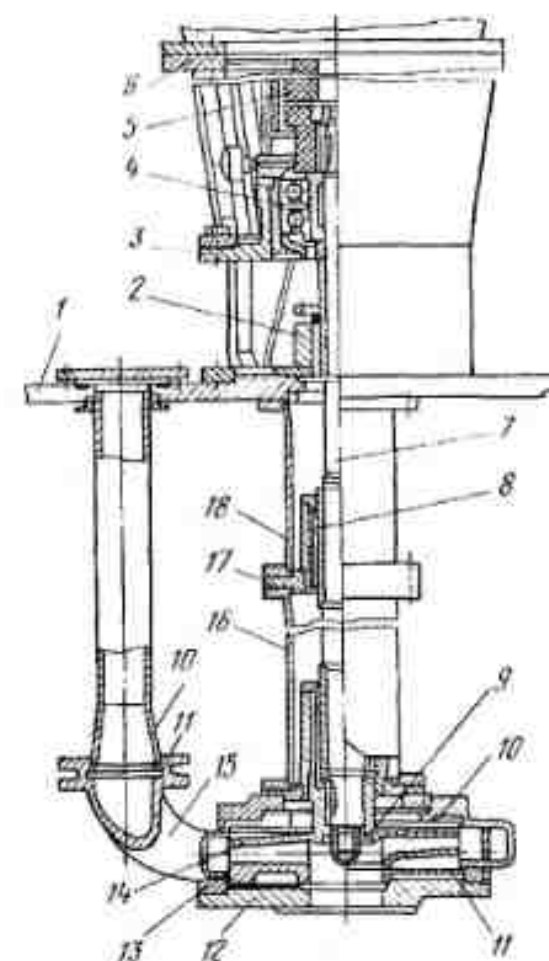
Насосы могут быть изготовлены из стали различных марок, нержавеющей стали, пластмасс и гуммированные.

Насосы типов АХ, ХПА (рис. 4.8), ПХП, изготовленные из металлов, предназначены для перекачивания жидкостей, содержащих твердые включения до 4 % по массе с размером частиц до 1,0 мм. Насосы типа ПХП могут использоваться для перекачивания суспензий с содержанием твердых частиц размером до 0,1 мм до 4 % и для перекачивания суспензий с содержанием взвесей до 25 % и температурой от — 40 до + 80 °С. Насосы типов ХО и ХПАО применяются для перекачивания тех же жидкостей, что и насосы типа Х и ХПА, а также кристаллизующихся растворов с температурой до 200 °С. Насосы типа ХО отличаются от насосов типа Х тем, что они выполнены с паровым обогревом корпуса и водным охлаждением опорной стойки и корпуса сальника.

Насосы, изготовленные из пластмасс, главным образом полипропилена, предназначены для перекачивания разбавленных и не-

Рис. 4.8. Насос типа ХПА:

1 — опорная плита; 2 — корпус узла уплотнения; 3 — опорная стойка; 4 — узел верхнего шарикоподшипника; 5 — муфта; 6 — прокладка; 7 — вал; 8 — вкладыш подшипника; 9 — гайка; 10 — верхний диск; 11 — нижний диск; 12 — всасывающая крышка; 13 — корпус; 14 — рабочее колесо; 15 — напорная труба; 16 — сердечник; 17 — корпус подшипника; 18 — секция



разбавленных минеральных кислот (50 %-ной соляной, 30 %-ной серной) и других агрессивных чистых жидкостей с плотностью до 1200 кг/м³ при температуре до 70 °С.

Гуммированные насосы предназначены для перекачивания разбавленных кислот (70 %-ной серной и фосфорной, 35 %-ной соляной) и других агрессивных жидкостей, содержащих твердые включения до 4 %, размером частиц до 0,5 мм и плотностью до 1300 кг/м³ при температуре до 60 °С.

Герметичные центробежные электронасосы во взрывозащищенном исполнении. Эти насосы представляют собой агрегат, состоящий из электродвигателя и одно-, двух- или трехступенчатого центробежного насоса.

Химические герметичные электронасосы типа ЦНГ-70, ХГ, ХГВ предназначены для перекачивания агрессивных, токсичных, взрыво- и пожароопасных жидкостей при температуре от 40 до 140 °С. Детали, соприкасающиеся с перекачиваемой жидкостью, изготавливаются из стали Х17Н13М3Т и Х18Н10Т.

Электронасосы изготавливаются во взрывозащищенном исполнении и могут устанавливаться в любых помещениях. Герметичные насосы не имеют сальниковых и торцевых уплотнений, благодаря чему при подаче и отводе культуральной жидкости с их помощью устраняются возможности инфицирования среды. Кроме того, подшипники смазываются перекачиваемой жидкостью, благодаря чему среда не загрязняется смазочными материалами.

Конструкция компактна, поскольку насос и электродвигатель соединены в моноблок.

Электронасосы являются гидравлически уравновешенной системой с минимальной нагрузкой на упорные подшипники. Так как насосы смазываются и охлаждаются перекачиваемой жидкостью, их работа вхолостую или при неполном заполнении жидкостью рабочей полости не допускается.

Химические герметичные электронасосы выпускаются в вертикальном и горизонтальном исполнении.

Осевые насосы. В осевых насосах в отличие от центробежных жидкость движется в осевом направлении. Приращение давления происходит за счет преобразования кинетической энергии в потенциальную.

Осевые насосы бывают одноступенчатыми и многоступенчатыми и применяются при больших подачах — от 750 до 6000 м³/ч и малых напорах — 1,3 до 23 м в качестве циркуляционных насосных шлюзовых установок в системах промышленного водоснабжения, а также для циркуляции суспензии в вакуум-выпарных установках.

Осевой насос состоит из рабочего колеса со втулкой, на которой укреплены 4—6 рабочих лопастей, вала, вращающегося в подшипниках, выправляющего аппарата и трубчатого корпуса, в котором расположены рабочее колесо и выправляющий аппарат, по которому забирается и отводится жидкость, перекачиваемая насосом.

Захватываемая насосом вода имеет направление движения, близкое к осевому. При перемещении к выбросу приобретает косое направление, и далее с помощью выправляющего аппарата в напорном патрубке жидкость перемещается поступательно.

4.4.2. Роторные насосы

Роторные насосы состоят из трех основных частей: ротора, неподвижного корпуса со всасывающей и нагнетательной камерами и непрерывно вращающихся замыкателей, расположенных на роторе. По виду замыкателей роторные насосы делятся на коловратные (шестеренчатые), поршневые (замыкателями являются поршеньки) и шиберные (замыкатели-пластины).

По принципу действия к роторным насосам также относятся всасывающие вихревые и водокольцевые насосы.

Шестеренчатые насосы. Состоят из двух цилиндрических зубчатых колес с небольшими радиальными и торцевыми зазорами, расположенных внутри корпуса. При вращении шестерен жидкость будет двигаться из всасывающего патрубка в напорный. Достоинствами этих насосов являются простота конструкции, малые масса и габариты.

Шестеренчатые насосы применяются для перекачивания жидкостей вязкостью от $2 \cdot 10^{-4}$ до 10^{-2} м²/с с подачей до 200 м³/ч, напором до 250 м и температурой до 250 °С.

Винтовые насосы. Винтовые насосы применяются для перекачки как чистых, так и загрязненных (до 5 %) жидкостей с подачей от 0,3 до 40 м³/ч и давлением до 20 МПа. Рабочими органами являются винты со специальной формой резьбы, обеспечивающей непрерывное перемещение жидкости по нарезам между сопрягающимися поверхностями вращающихся и находящихся в зацеплении винтов. Винтовые насосы могут развивать высокое давление

и используются для перекачки смазывающих жидкостей. В микробиологических производствах они применяются для подачи суспензии на сушку.

4.4.3. Расчет и выбор насосов

Расчет насоса включает определение напора и мощности электродвигателя при заданном расходе жидкости и выбор насоса из имеющихся в каталоге с учетом особенностей технологической операции.

Мощность, затрачиваемая на перекачивание жидкости, (кВт)

$$N_n = U g \rho H,$$

где U — подача (расход) жидкости, м³/с; H — высота подъема жидкости, м; ρ — плотность жидкости, кг·м⁻³.

Напор H (м)

$$H = (p_2 - p_1) / (\rho g) + H_r + h_n,$$

где p_1 — давление в аппарате, из которого перекачивается жидкость, Па; p_2 — давление в аппарате, в который подается жидкость, Па; H_r — геометрическая высота подъема жидкости, м; h_n — суммарные потери напора во всасывающей и нагнетательной линиях, м.

Мощность электродвигателя (кВт)

$$N_s = N_n / (\eta \eta_{\text{пер}}),$$

где η — КПД насоса (для центробежного при малой подаче $\eta = 0,4 \div 0,7$, при большой $\eta = 0,7 \div 0,9$; для осевого $\eta = 0,7 \div 0,9$, поршневого $\eta = 0,65 \div 0,85$); $\eta_{\text{пер}}$ — КПД передачи (в центробежных и осевых насосах, непосредственно соединенных с валом электродвигателя, $\eta_{\text{пер}} \approx 1$; в поршневых $\eta_{\text{пер}} = 0,93 \div 0,98$).

4.5. ДОЗАТОРЫ СЫПУЧИХ И ЖИДКИХ СРЕД

Дозаторы предназначены для равномерной подачи сырья в аппарат и установки, а также применяются на финишных операциях производства. В первом случае они также называются питателями.

В микробиологической промышленности применяются дозаторы сыпучих сред различного принципа действия: дискретного действия — объемные и весовые дозаторы — и непрерывного действия.

4.5.1. Объемные дозаторы

Для объемного непрерывного дозирования соли, муки, отрубей, свекловичного жома, полупродуктов и продуктов микробиологической промышленности применяются объемные дозаторы следующих типов: шлюзовые, винтовые, тарельчатые, вибрационные, виброшнековые дозаторы, с ручным, электрическим или пневматическим управлением.

Производительность дозаторов регулируется исполнительным механизмом пневмо- или электрического привода.

Шлюзовые дозаторы. Применяются для подачи порошкообразных и зернистых материалов с насыпной плотностью до $1,8 \text{ г/см}^3$, размером гранул до 10 мм и температурой до 100°C . Они также используются в качестве шлюзовых затворов, которые устанавливаются под бункерами и на вертикальных участках материалопроводов.

Дозатор состоит из ротора с ячейками, закрепленного на валу, и приводного механизма, состоящего из выносного подшипника, цилиндрического червячного редуктора и храпового механизма (рис. 4.9). Он смонтирован в корпусе и имеет загрузочный и разгрузочный штуцера.

В шлюзовых дозаторах с пневматическим управлением производительность регулируют мембранным пневмоприводом, а в питателях с электрическим управлением — с помощью электрического исполнительного механизма.

Производительность дозатора зависит от типоразмера и колеблется в пределах: 0,14—1,3; 0,7—3,6; 1,5—14,2; 6—56 $\text{м}^3/\text{ч}$ при частотах вращения ротора 0,033—0,31 и 0,035—0,33 с^{-1} .

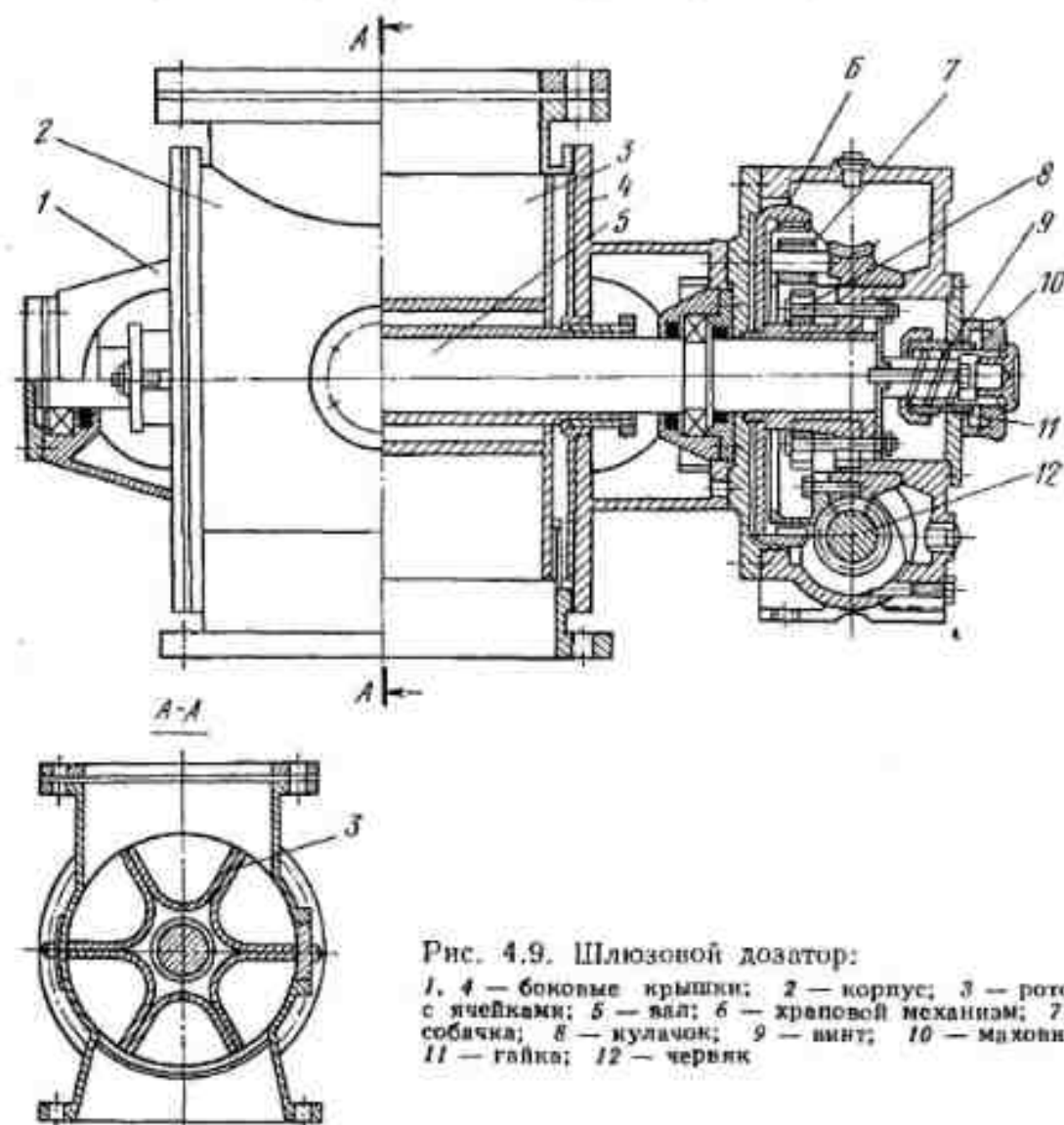


Рис. 4.9. Шлюзовой дозатор:
1, 4 — боковые крышки; 2 — корпус; 3 — ротор с ячейками; 5 — вал; 6 — храповой механизм; 7 — собачка; 8 — кулачок; 9 — шпиль; 10 — маховик; 11 — гайка; 12 — червяк

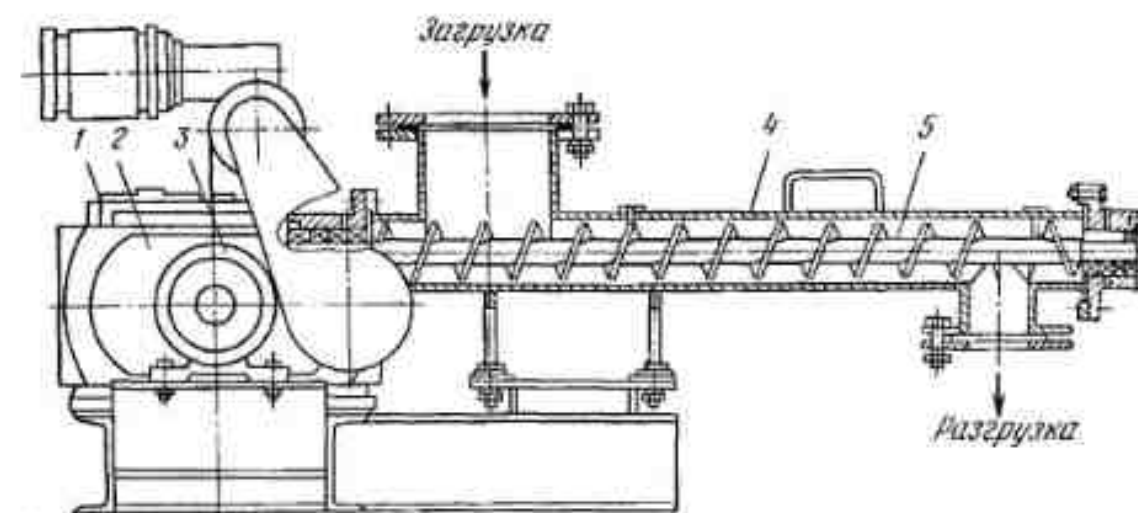


Рис. 4.10. Винтовой дозатор типа В-1:

1 — червячный редуктор; 2 — вариатор; 3 — электродвигатель; 4 — цилиндрический корпус; 5 — транспортирующий винт

Винтовые дозаторы. Предназначены для подачи сыпучих порошковых материалов с размером гранул до 5 мм, поверхностной влажностью до 1,5 % и насыпной плотностью до $1,8 \text{ г/см}^3$. Винтовые дозаторы применяются в качестве подающих устройств на горизонтальных участках материалопроводов и могут быть с ручным или электрическим управлением.

Цилиндрический корпус питателя оснащен загрузочным и разгрузочным штуцерами (рис. 4.10). Внутри корпуса смонтирован транспортирующий винт-шнек. Торцы корпуса закрыты крышками и уплотнительными устройствами.

Производительность питателя зависит от диаметра винта, частоты вращения, которая регулируется цепным вариатором или изменением скорости вращения транспортирующего винта. Управление вариатором может быть ручным, дистанционным или автоматическим. Часовая производительность (в м^3) составляет: 0,06—0,37; 0,13—0,76; 0,61—3,65; 2,4—14,3; 7—42.

Для подачи нелипких плохосыпучих порошкообразных материалов с насыпной плотностью до $8,8 \text{ г/см}^3$ и температурой до 60°C применяются винтовые вибрационные питатели типа В-2.

Они состоят из корпуса с активатором, в нижней части которого расположены винт и корпус с амортизатором. Корпус установлен на раме и соединен с загрузочным патрубком эластичным рукавом. Колебания корпуса с активатором создаются регулируемым инерционным вибратором, вал которого приводится во вращение от электродвигателя через упругую муфту.

Производительность регулируют, изменяя с помощью вариатора скорость вращения винта.

Тарельчатые дозаторы. Этот тип дозаторов предназначен для подачи сыпучих порошкообразных и зернистых материалов с размером гранул до 5 мм и насыпной плотностью до $1,8 \text{ г/см}^3$. Они применяются в непрерывных технологических процессах для за-

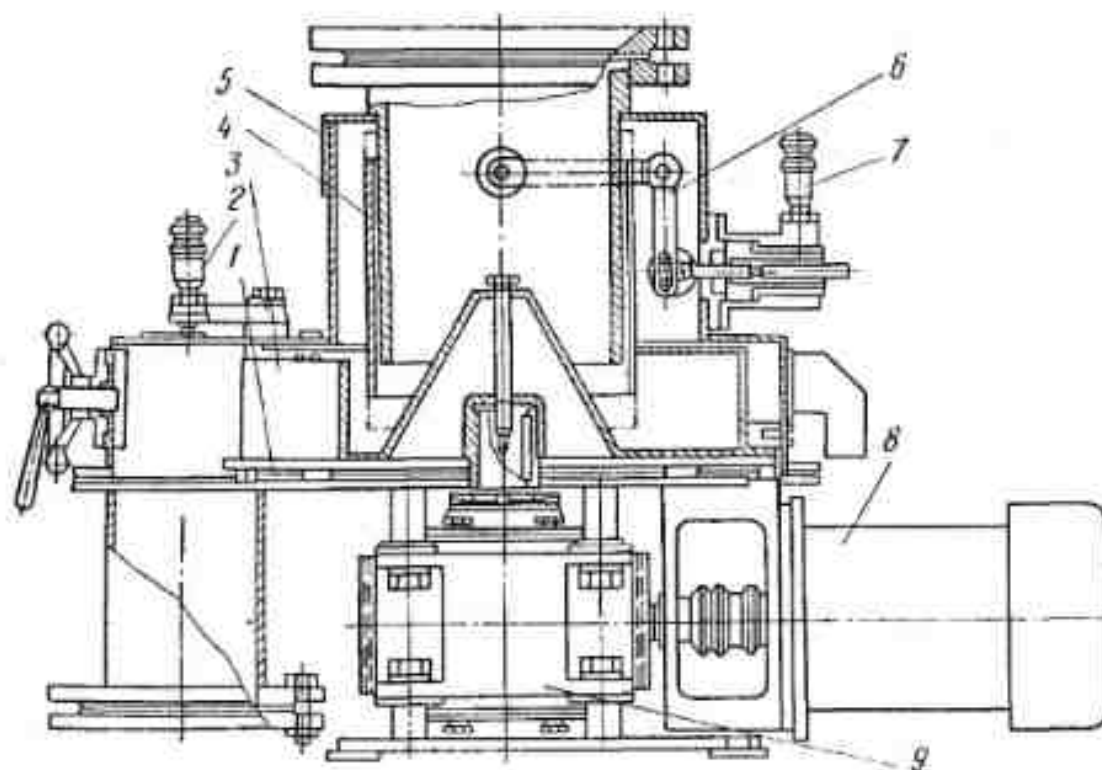


Рис. 4.11. Тарельчатый дозатор:

1 — тарель; 2 — рукоятка; 3 — сбрасывающий нож; 4 — телескопический стержень; 5 — кожух; 6 — рычажно-винтовой механизм; 7 — рукоятка; 8 — электродвигатель; 9 — червячный редуктор

грузки аппаратов, смесителей, дробилок и др., а также в качестве разгрузочных устройств стационарных бункеров. Тарельчатые дозаторы изготавливают с ручным или пневматическим управлением.

Дозаторы состоят из герметичного кожуха, тарели, телескопического стакана и сбрасывающего ножа (рис. 4.11). Привод тарели — от электродвигателя через вариатор и червячный редуктор. Производительность дозатора регулируется при вертикальном перемещении стакана вручную с помощью вариатора или изменением угловой скорости вращения тарели. В дозаторах с пневматическим управлением стакан перемещается при помощи мембранного пневмопровода, а при электрическом управлении — с помощью электрического исполнительного механизма.

Вибрационные дозаторы. Вибрационные питатели применяются для подачи плохосыпучих материалов с углом естественного откоса более 40° , температурой до 70°C .

Питатель состоит из корпуса, к несущему фланцу которого на подвесках с упругими резиновыми амортизаторами прикреплено вибродвище с активатором обечайки корпуса. Загрузочный патрубок и вибродвище соединены эластичным резиновым рукавом. На несущем фланце вибродвища установлен регулируемый вибратор, вал которого приводится во вращение от электродвигателя через упругую муфту.

Производительность питателя зависит от регулируемого вибратора и составляет в зависимости от типоразмера от 21 до 36 $\text{м}^3/\text{ч}$ при мощности вибратора 0,6 кВт.

4.5.2. Весовые дозаторы

Весовые дозаторы делятся на две группы: дозаторы дискретного действия (порционные), которые применяются в основном на финишных операциях, и дозаторы непрерывного действия.

Весовые дозаторы бывают с ручным, полуавтоматическим и автоматическим управлением.

Дозаторы дискретного действия. Автоматические дозировочные весы ВАД-1-342 предназначены для дозирования порошков с насыпной плотностью $0,2\text{--}0,8\text{ г/см}^3$.

Весы стационарные неравноплечие четырехкомпонентные снабжены четырьмя электровибрационными дозаторами, а также циферблатным указателем, сельсинными датчиками для дистанционного съема показаний. Управление весами электропневматическое.

Установка массы порции производится с пульта управления.

Автоматические дозировочные весы для сыпучих материалов ВА-3-Вп, ВА-3-Ша предназначены для взвешивания сыпучих материалов с насыпной плотностью $0,2\text{--}0,8\text{ г/см}^3$.

Весы стационарные во взрывозащищенном исполнении с электропневматическим дистанционным управлением снабжены электроимпульсным счетчиком количества отвесов.

Вначале грубая, а затем тонкая подача продукта производится с помощью электромагнитного питателя.

При необходимости дозированного фасования сыпучих материалов в мешки с последующей передачей на зашивочную машину применяются весовыбойные установки. Весовыбойная установка состоит из автоматических весов с открывающимся днищем с конусным переходом на патрубок и встряхивающего механизма.

Взвешиваемый сыпучий продукт (крахмал, мука и др.) с насыпной плотностью $0,3\text{--}0,6\text{ г/см}^3$ непрерывно поступает на весы с последующей подачей его в мешки. Мешок подвешивается к патрубку подвеса бункера, и поэтому масса порции продукта взвешивается без тары.

На гиредержателе устанавливается заданная масса порции, при достижении которой впускная заслонка автоматически закрывается. При зажигании сигнальной лампы, показывающей, что отвес закончен, открывается днище бункера и одновременно с наполнением подвешенного мешка продуктом включается встряхивающее устройство, предназначенное для уплотнения продукта в мешки.

С момента опорожнения бункера и закрытия днища в весовой бункер поступает новая порция продукта, затем включается встряхивающее устройство, снимается уплотненный мешок с продуктами и на патрубок подвешивается пустой мешок.

Блокировка весов исключает возможность открывания заслонки весов при открытом днище, а также открытия днища при открытой заслонке.

Механический счетчик фиксирует количество мешков.

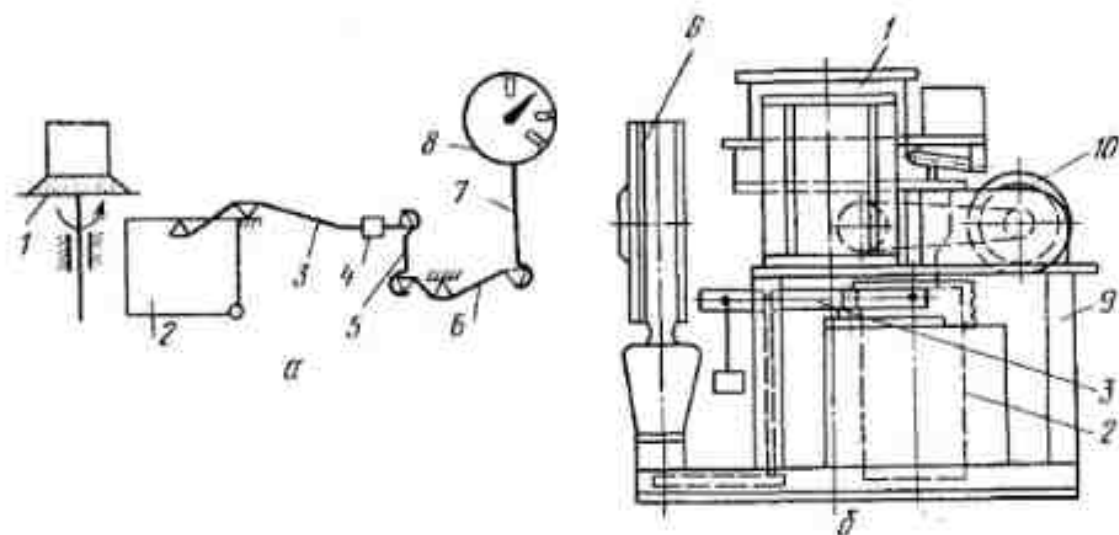


Рис. 4.12. Схема автоматического весового дозатора:
а — кинематическая схема; б — общий вид; 1 — тарельчатый дозатор; 2 — ковш; 3 — грузоподъемный рычаг; 4, 5, 6, 7 — тяги; 8 — циферблатный указатель; 9 — рама; 10 — электропривод

Для весового дозирования специфических препаратов могут быть использованы автоматические весы для ядохимикатов.

Автоматические рычажные весы снабжены питателем и бункером с открывающимся днищем и механическим счетчиком. Весы могут работать в едином агрегате с машиной для фасования препарата.

Опорожнение отвеса из бункера производится от внешнего импульса.

В производстве премиксов и стандартизации готовых препаратов применяют объемные и весовые дозаторы. Наибольшее использование получили весовые автоматические дозаторы типа ДК. С помощью этих дозаторов компоненты премиксов можно дозировать с точностью до 0,1 %.

Автоматический весовой дозатор ДК-10 (рис. 4.12) состоит из тарельчатого дозатора сыпучего материала 1, имеющего два режима работы, ковша 2 с откидывающимся дном, подвешенного на призме малого плеча грузоподъемного рычага 3. Большое плечо рычага посредством промежуточного рычага 6 соединено с циферблатным указателем 8, на котором находятся бесконтактные сигнализаторы нулевого положения, грубого и точного отвеса 4.

После включения дозатора начинает работать тарельчатый питатель 1 с полной производительностью. По мере наполнения ковша 2 продуктом стрелка циферблатного указателя перемещается и достигает сигнализатора грубого отвеса, который дает сигнал на перевод питателя в режим досыпки продукта в ковш. По достижении точной массы продукта в ковше стрелка доходит до сигнализатора точного отвеса 4, который дает команду на выключение питателя и открытие дна ковша с помощью электрических или пневматических исполнительных механизмов через рычаги и тяги. После освобождения ковша стрелка возвращается в исходное положение,

Таблица 4.2. Техническая характеристика весовых дозаторов дискретного действия

Показатели	ДК-2	ДК-10	ДК-20
Масса порции дозирования, кг	0,3—2,5	1—10	5—20
Время цикла взвешивания, с	60	60	60
Вместимость ковша, м³	0,014	0,034	0,1
Мощность привода, кВт	1,5	1,5	1,0
Габаритные размеры, мм	1455×645×1110	1455×645×1110	1450×840×1400
Масса, кг	400	385	330

Продолжение табл. 4.2

Показатели	ДК-40	ДК-70	ДК-100
Масса порции дозирования, кг	20—40	40—70	70—100
Время цикла взвешивания, с	60	60	60
Вместимость ковша, м³	0,128	0,26	0,35
Мощность привода, кВт	1,0	1,0	1,0
Габаритные размеры, мм	1450×840×1565	1760×1075×1590	1760×1075×1930
Масса, кг	335	545	560

срабатывает сигнализатор нулевого положения, цикл взвешивания повторяется. Изменяя положение сигнализаторов уровней на циферблате, регулируют величину дозирования продукта.

При необходимости дозирования нескольких компонентов дозаторы сосредоточивают в батарее с общим пультом управления. Дозирование производится по параллельной схеме, где число дозаторов равно числу компонентов.

Для дозирования многокомпонентных сред вместо батарей однокомпонентных дозаторов можно использовать дозаторы с циферблатным указателем, в которые продукты подают последовательно в один весовой ковш. Над весовым ковшем расположены питатели, число которых равно числу компонентов, каждый из компонентов дозируется соответствующим питателем поочередно. Масса дозы суммируется.

С помощью дозаторов типа ДК можно дозировать продукт в широком диапазоне массы (табл. 4.2).

Весовые дозаторы непрерывного действия. Питатели и дозаторы объемного типа — тарельчатые, барабанные, шнековые и др. — не обеспечивают требуемой точности дозирования и равно-

мерности потока. Весовые дозаторы непрерывного действия являются более прогрессивными.

К дозаторам этого типа относятся ленточные дозаторы. Ленточный дозатор состоит из приемной воронки, ленточного транспортера, весового рычажного механизма с грузоприемным роликом, расположенным под весовым участком ленты.

Производительность дозатора устанавливается по заданной нагрузке на ленту и скорости перемещения ленты. Материал из приемной воронки поступает на ленту дозатора. Участок ленты от оси последнего опорного ролика до оси ведомого барабана является весовой платформой дозатора. Вес ленты с материалом, находящимся на ленте, действует на ролик, а другое плечо рычага тягой соединяется с коромыслом, на котором имеется передвижная гиря. По этой гире определяется заданная производительность. Коромысло связано с автоматически опускающейся и поднимающейся заслонкой, которая уменьшает либо увеличивает выпускное отверстие приемной воронки, соответственно изменяя подачу материала.

4.5.3. Дозаторы жидких сред

Для объемного напорного дозирования в точных и регулируемых количествах различных чистых нейтральных и агрессивных жидкостей используются дозировочные насосы. Дозировочные насосы, объединенные общим приводным валом, образуют дозировочный агрегат, который может использоваться для одновременного дозирования нескольких различных компонентов. В технологических процессах, требующих регулирования и поддержания соотношения одновременной дозировочной подачи нескольких различных компонентов, применяются дозировочные агрегаты, состоящие из дозировочных насосов типа НД, расположенных на одном приводном валу. В конструкции имеются один регулирующий механизм и семь типоразмеров гидроцилиндров, на базе которых создана серия дозировочных насосов и агрегатов. Подача в насосе и агрегате регулируется изменением длины хода плунжера.

Регулирующий механизм позволяет плавно изменять производительность при работающем и остановленном электродвигателе. Насосы изготавливаются из стали Х18Н10Т.

Температура дозируемых жидкостей при резиновых манжетах допускается до 80 °С и при фторопластовых — до 200 °С, кинематическая вязкость перекачиваемых сред — от 10^{-6} до 0,1 Па·с. Номинальная подача составляет 10, 16, 25, 40, 63, 100, 160, 400, 630, 1000, 1600 и 2500 л/ч.

4.6. УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОЙКИ ОБОРУДОВАНИЯ

Гидромониторы. Для механической мойки оборудования, цистерн, емкостей и др. применяются моечные машины типа ММ-4А и гидромониторы Г-13А. Они опускаются через люк на опорном

Рис. 4.13. Гидромонитор Г-13А:

1 — сопло; 2 — штуцер для подвода воды; 3 — механизм вращения

приспособлении внутри аппарата, и под действием струи горячей жидкости давлением 0,6—1 МПа производится очистка внутренних поверхностей.

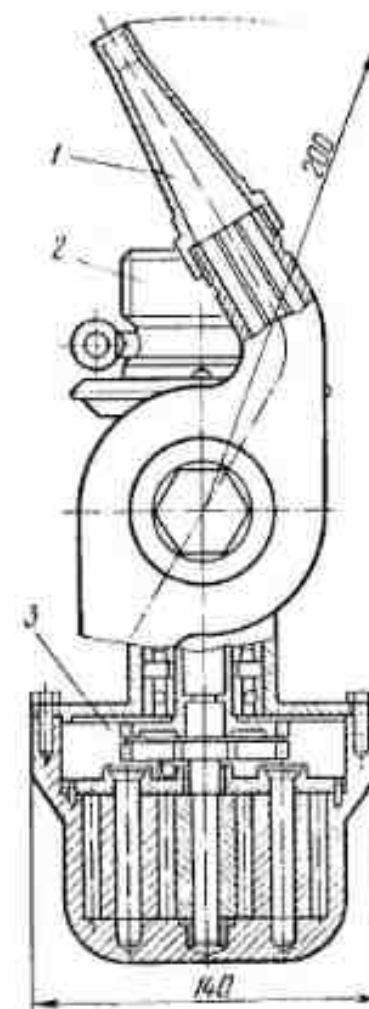
Моечная машина ММ-4А состоит из неподвижного и поворотного корпусов, приводного механизма, редуктора и соплового аппарата с успокоителем. Для присоединения шланга на поворотном корпусе имеется стакан с резьбой. Моющая жидкость при температуре до 80 °С приводит во вращение рабочее колесо гидротурбины, которое через вертикальный валик червячного редуктора вращает со скоростью 0,03—0,04 с⁻¹ сопловый аппарат, состоящий из двух сопел с диаметром выходного сечения 11 мм. Струя жидкости перед выходом из сопел проходит через успокоитель, увеличивающий дальность струи и под давлением 0,6—1,0 МПа и расходе воды до 30 м³/ч в течение 20—25 мин вымывает аппарат. Для предотвращения попадания воды в зазор между вертикальным валиком и поворотным корпусом установлено торцевое уплотнение. Габаритные размеры машины 175 × 122 × 355 мм, масса 10 кг.

Гидромонитор Г-13А (рис. 4.13) работает при давлении моющего раствора 0,6—0,8 МПа и расходе 18—22 м³/ч. Температура моющего раствора 75—90 °С. Продолжительность промывки регулируется поворотом маховика крана регулятора и колеблется от 5 до 30 мин.

Конструкция гидромонитора аналогична конструкции машины ММ-4А. Положения крана регулятора соответствуют четырем циклам мойки: 5—15, 15—20, 20—35, 25—30 мин. Габаритные размеры гидромонитора 400 × 195 × 140 мм.

Механизированные моечные установки фирмы «Керхер» (ФРГ). Более совершенной конструкцией являются моечные передвижные установки «Керхер». Моющее устройство — разбрызгивающая головка, укрепленная на опорном приспособлении, — опускается внутрь аппарата и под напором горячей струи воды в 3—5 МПа быстро и эффективно очищает его внутреннюю поверхность.

В зависимости от конструкции аппарата, подлежащего мойке, применяются различные опорные приспособления для моющего устройства. Для мойки аппаратов малой емкости моющее устрой-



ство крепится на короткой вертикальной трубе и погружается через люк аппарата, находящийся на крышке. Опора ложится на фланец крышки аппарата, закрепляется, а глубина погружения регулируется.

Помимо вращения вокруг собственной оси разбрызгивающие сопла вращаются одновременно вокруг продольной оси моющей головки аппарата, благодаря чему струи моющего раствора достигают все точки внутренней поверхности аппарата.

На всасывающей стороне насоса температура моющей жидкости составляет 50—60 °С, на нагнетательной стороне после нагрева в теплообменнике 90—95 °С.

Бак с моющим раствором и регулирующим вентилем для подачи раствора, насос, создающий давление струи, необходимое для мойки и очистки бака с фильтром, куда стекает моющая жидкость из сливного отверстия аппарата, смонтированы на передвижной тележке. Жидкость для мойки может быть использована многократно благодаря циркуляционному контуру и фильтрации через встроенный фильтр. Внутренняя моющая головка может работать с двумя или четырьмя соплами. При двух соплах струя более длинная и сильная, что необходимо при мойке больших или сильно загрязненных аппаратов.

Моющая установка фирмы «Керхер» позволяет получать все виды струи — паровую, горячую, теплую и холодную — с автоматическим дозированием химикатов.

Частота вращения моющего устройства выбирается в зависимости от степени загрязнения аппарата и его радиуса. Чем больше радиус и степень загрязнения, тем меньше скорость вращения.

Глава 5. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СТЕРИЛИЗАЦИИ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД. ГИДРОЛИЗАППАРАТЫ

Одним из условий, наиболее существенно влияющих на биосинтез биологически активных веществ, является обеспечение стерильности производства, в том числе стерильности компонентов питательной среды. При производстве биологически активных веществ применяют различные многокомпонентные питательные среды, в которых могут содержаться посторонние микроорганизмы. Эти микроорганизмы должны быть полностью разрушены или удалены. Процесс воздействия на питательную среду, при котором разрушаются или полностью удаляются микроорганизмы, называют стерилизацией.

Удаление и деструкция микробов может быть достигнута различными методами. Деструкция, приводящая к полной потере жизнеспособности микроорганизмов, является надежным способом стерилизации. В настоящее время в промышленных условиях применяется простой и экономичный метод стерилизации сред с применением влажного тепла. Существенным фактором, обеспечивающим надежную стерилизацию при тепловой обработке, является продолжительность процесса. Устойчивость к теплу зависит от вида микроорганизма. Например, споры и конидии плесневых грибов в 2—10 раз устойчивее по сравнению с неспороносной палочкой, вирусы и бактериофаги — в 2—5 раз, а споры бактерий — в 3 000 000 раз.

Состав и свойства питательной среды, а также способ последующего культивирования микроорганизмов-продуцентов определяют выбор способа стерилизации и оборудования для этого важного технологического процесса.

5.1. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СТЕРИЛИЗАЦИИ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД

Биологически активные вещества получают либо при поверхностном способе культивирования на сыпучих твердых питательных средах, либо глубинным на жидких питательных средах.

Для стерилизации твердых сыпучих сред могут применяться тепловые и холодные способы стерилизации (см. схему). Тепловая стерилизация осуществляется паром (под вакуумом, при атмосферном или под избыточным давлением), инфракрасными лучами, электронагревом, с помощью высокочастотного и сверхвысокочастотного нагрева. К способам холодной стерилизации относятся: ионизирующее излучение, химическая стерилизация окисью этилена, ультразвуковое, радиационное воздействие и фильтрация через стерилизующие фильтры.



По принципу действия различают стерилизацию непрерывную и периодическую. По конструктивному оформлению стерилизаторы периодического действия делятся на горизонтальные одноступенчатые и двухступенчатые, совмещенные двухступенчатые с одной вертикальной ступенью, а другой — горизонтальной и непрерывного действия — горизонтально вибрационные.

В качестве теплоносителя для всех перечисленных стерилизаторов применяется насыщенный водяной пар. Преимуществами тепловой обработки паром являются его легкая транспортировка, способность проникновения в труднодоступные узлы стерилизаторов, трубопроводов и арматуры, большая теплоотдача при конденсации, нетоксичность. Конденсат водяного пара не изменяет состава среды и, увлажняя споры, способствует увеличению скорости их гибели в 10—1 000 раз.

При стерилизации окисью этилена применяются газовые стерилизаторы шкафного типа периодического действия с рециркуляцией окиси этилена. Для стерилизации сыпучих сред ионизирующим излучением применяется пучок наведенных ускоренных электронов до 5 МэВ, получаемых от сильноточных ускорителей.

Жидкие среды также стерилизуют путем тепловой обработки водяным паром, однако конструктивно установка отличается от стерилизаторов для твердых сред. Процессы периодической стерилизации жидких сред осуществляются либо в специальных аппаратах, либо непосредственно в ферментаторах после их загрузки.

В промышленности для стерилизации жидких сред широко применяются установки стерилизации УНС-5, УНС-20 и УНС-50 производительностью соответственно 5, 20, 50 м³/ч, а также зарубежные установки фирмы «Де-Лаваль» и роторного типа производства Югославии.

Стерилизация жидких растворов может быть осуществлена также путем удаления микроорганизмов при их фильтрации через асбестоцеллюлозные мембранные фильтры типов МФА-0,3 и -4.

5.2. СТЕРИЛИЗАТОРЫ ТВЕРДЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД

5.2.1. Стерилизатор горизонтального типа

В микробиологической промышленности для стерилизации сыпучих питательных сред паром широко применяются цилиндрические стерилизаторы горизонтального типа, снабженные пароводяной рубашкой. Внутри стерилизатора конструкции ВНИЭКИпродмаша (рис. 5.1) расположены два вала с закрепленными на них лопастями, угол поворота которых по отношению к валу легко регулируется. Это позволяет установить оптимальный радиальный зазор между лопастями и стенками аппарата в зависимости от физико-химических свойств компонентов и состава среды. Валы вращаются в разные стороны, при этом среда непрерывно перемешивается в противоположных направлениях, двигаясь от одного торца аппарата к другому по сложной траектории. Такое конструктивное решение обеспечивает интенсивное перемешивание среды, значительное снижение комкообразования и однородность среды разнокомпонентного состава, что существенно влияет на процесс культивирования.

Для ускорения нагрева среды предназначена пароводяная рубашка, в которую подается пар под давлением до 0,2 МПа. Среду выдерживают при заданной температуре стерилизации с периодическим включением перемешивающих устройств.

Объем аппарата и мощность установленного электродвигателя предусматривает одновременную стерилизацию до 400 кг сухих компонентов среды и до 600 л воды для получения среды с влажностью 58—60 %.

Выгрузку стерильной питательной среды производят через нижний разгрузочный люк, снабженный внутренней и наружной крышками, плотно прилегающими с помощью винтового уплотнителя к аппарату. Стерилизатор, кроме этого, снабжен загрузочными люками, многочисленными штуцерами для подвода пара и отвода конденсата, подвода и отвода охлаждающей воды, средств

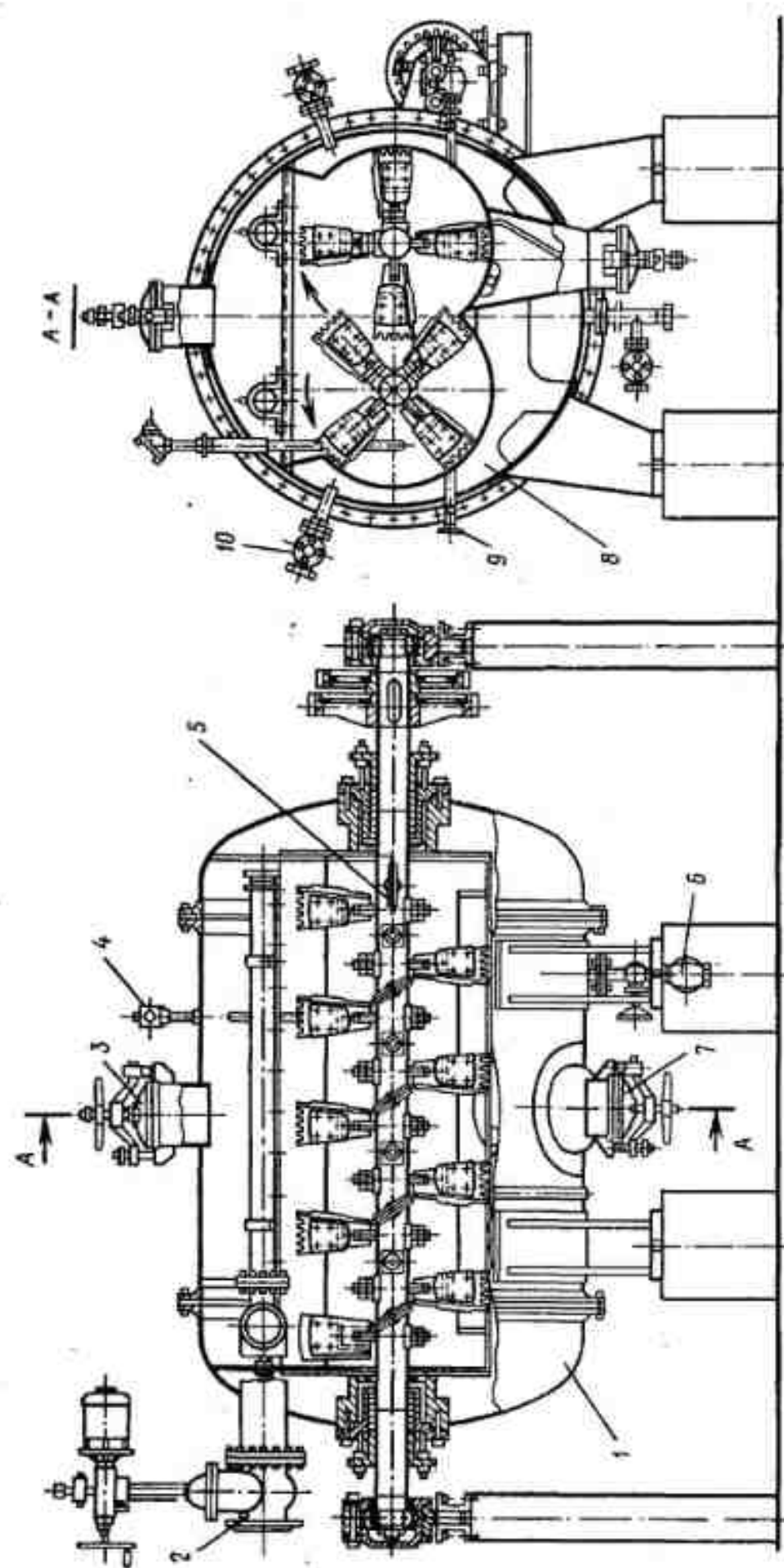


Рис. 5.1. Стерилизатор горизонтального типа конструкции ВНИЭКИПродмаша:

1 — корпус; 2 — штуцер для подачи воды в аппарат; 3 — люк для загрузки сырья; 4 — вентиль для подачи пара; 5 — вентиль для выхода пара из аппарата; 6 — вентиль для подачи пара; 7 — вентиль для подачи пара; 8 — вентиль для подачи пара; 9 — вентиль для подачи пара; 10 — вентиль для подачи пара.

контроля и регулирования температуры, давления, предохранительным клапаном.

Техническая характеристика стерилизатора конструкции ВНИЭКИПродмаша

Количество загружаемых сухих компонентов среды, кг	400
Производительность, кг/сут	1600—2400
Допускаемое давление, МПа	0,2
Частота вращения мешалок, с ⁻¹	0,25
Мощность электродвигателя, кВт	10
Габаритные размеры, мм	
диаметр	1800
длина	2800
Толщина стенки обечайки, мм	8
Масса аппарата, кг	8000

5.2.2. Двухступенчатый стерилизатор периодического действия горизонтального типа

Такой стерилизатор состоит из двух горизонтальных ступеней, между которыми расположен вертикальный емкостный выдерживатель (рис. 5.2). Верхняя и нижняя ступени состоят из трех последовательно соединяемых секций горизонтальных труб общей длиной 7000 мм. Каждая секция снабжена рубашкой, в которую подается пар под давлением 0,5—0,6 МПа. Внутри верхней трубы расположен вал с лопатками, вращающийся с частотой 0,1 с⁻¹. Компоненты среды, подаваемые в верхнюю ступень, перемещаются вдоль корпуса винтовым шнеком и при непрерывном перемешивании стерилизуются.

Особенностью верхней ступени является наличие дополнительных тормозных лопаток, установленных на валу шнека через каждые 5—6 направляющих лопаток, благодаря чему обеспечиваются равномерный нагрев среды и хорошее перемешивание. Из верхней ступени простерилизованная среда поступает в выдерживатель, представляющий собой герметичный аппарат с коническим днищем и перемешивающим устройством, где она находится в течение 60—90 мин. Для поддержания заданной температуры стерилизации выдерживатель снабжен паровой рубашкой.

Из выдерживателя стерильная среда через дозатор поступает в нижнюю горизонтальную ступень, идентичную верхней, где производится доувлажнение стерильной среды, охлаждение и засев суспензией посевной культуры.

Угол наклона лопастей вала можно изменять по отношению к оси вала и регулировать таким образом производительность установки. Двухступенчатый стерилизатор снабжен средствами автоматического контроля и регулирования параметров процесса.

Существенными конструктивными недостатками стерилизаторов горизонтального типа являются неполное использование объема аппарата, забивание средой разгрузочного люка, в результате чего

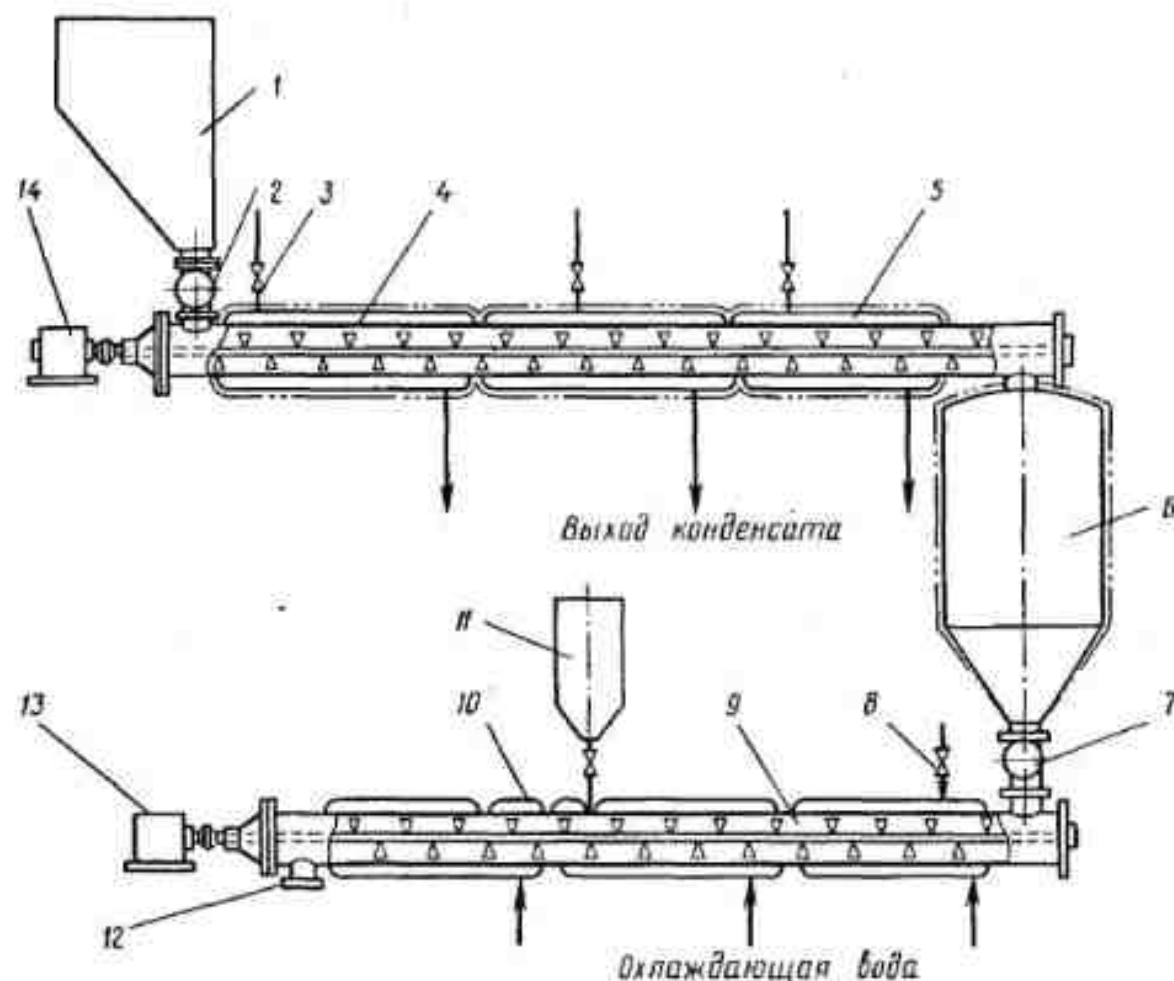


Рис. 5.2. Двухступенчатый стерилизатор циклического действия горизонтального типа:

1 — бункер для сырья; 2 — дозатор сырья; 3 — штуцер для подачи пара; 4 — стерилизатор; 5 — паровая рубашка; 6 — накопитель; 7 — дозатор; 8 — штуцер для подачи стерильной воды; 9 — увлажнитель; 10 — водяная рубашка; 11 — дозатор стерильной воды с суспензией посевной культуры; 12 — штуцер для выгрузки стерильной среды; 13 — привод шнека увлажнителя; 14 — привод шнека стерилизатора

трудно достичь надежной стерилизации, а также неполная выгрузка среды из стерилизатора.

Техническая характеристика двухступенчатого стерилизатора горизонтального типа

Производительность, кг/ч	150
стерилизатора (верхней ступени)	
увлажнителя (нижней ступени)	225—250
Емкость выдерживателя, м ³	2
Габаритные размеры, мм	7000×2000×3000

5.2.3. Стерилизатор периодического действия вертикального типа

Аппарат для стерилизации сыпучих сред состоит из двух ступеней (рис. 5.3).

Первая ступень, в которой осуществляются нагрев и стерилизация увлажненной среды, является стерилизатором вертикаль-

ного типа, а вторая ступень, предназначенная для доувлажнения среды, охлаждения и засева посевной культурой, представляет собой смеситель горизонтального типа.

Объем стерилизатора обеспечивает загрузку до 600 кг среды при влажности 30 %. Внутри вертикального аппарата имеется мешалка с лопастями, расположенными по всей высоте перпендикулярно друг другу. При вращении мешалки нижняя плоскость лопасти движется параллельно поперечному сечению аппарата, а верхняя образует наклонную плоскость, по которой передвигается среда. Благодаря этому лопасти имеют малое лобовое сопротивление и не прессуют среду. Шаг между лопастями выбран так, что при вращении вала среда может свободно пересыпаться. При расположении лопастей в шахматном порядке и установке неподвижных отбойников процесс перемешивания интенсифицируется.

Пар в стерилизатор подается через полый вал в лопасти. В конической части аппарата расположены перемешивающие лопасти, которые обеспечивают свободную выгрузку простерилизованной среды через герметический люк. Люк открывается с помощью автоматического гидродвиателя. Аппарат снабжен паровой рубашкой, смотровыми люками, средствами автоматизации для регулирования температуры и давления пара.

Техническая характеристика первой ступени вертикального стерилизатора

Производительность, кг/ч	240—300
Объем, м ³	2
Избыточное давление в аппарате и рубашке, МПа	0,147
Мощность электродвигателя, кВт	5,5
Масса среды, кг	600
Влажность среды, %	30
Расход пара, кг/ч	210
Габаритные размеры, мм	1500×1400×4500
Масса, кг	1620

Вторая ступень установки — смеситель — представляет собой горизонтальный цилиндрический аппарат, изготовленный из стали Х18Н107, внутри которого расположен вал с лопастями. На концах лопастей установлены скребки, образующие со стенками аппарата незначительный зазор. Опоры вала выносные, в торцевых крышках имеются сальниковые уплотнения. Частота вращения вала 0,166—0,2 с⁻¹. При большей частоте вращения стерильная среда уплотняется и теряет пористость, вследствие чего культура плохо растет.

В торцевой крышке аппарата установлен пробоотборник, представляющий собой герметизированный шнек, расположенный внутри трубы, с верхним каналом и герметичным стаканом для стерильной среды. В стакан шнеком подается среда.

В нижней цилиндрической части смесителя расположен разгрузочный люк с отводящим патрубком, по которому засеянная стерильная среда поступает в растительную камеру.

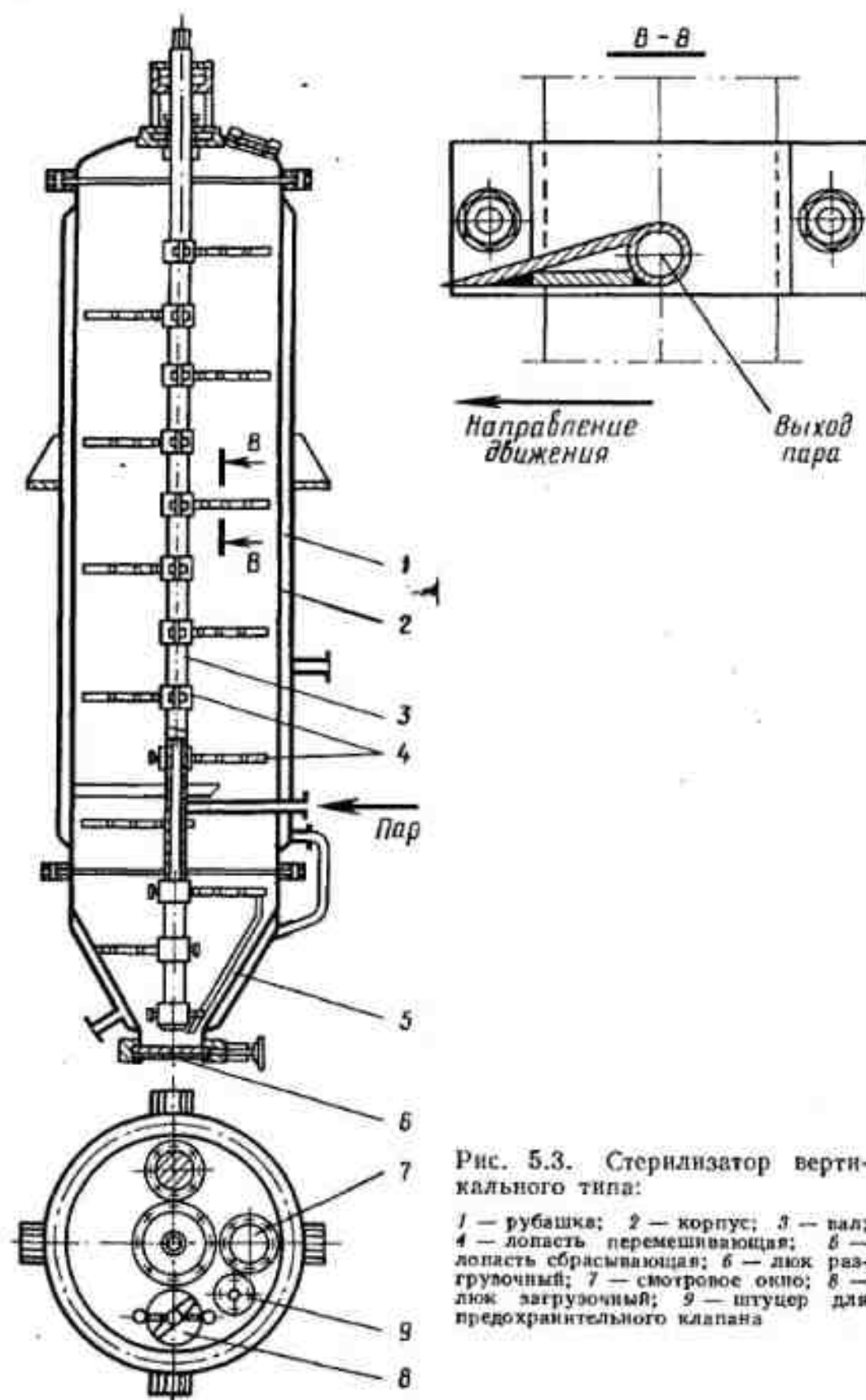


Рис. 5.3. Стерилизатор вертикального типа:

1 — рубашка; 2 — корпус; 3 — вал;
4 — лопасть перемешивающая; 5 —
лопасть сбрасывающая; 6 — люк раз-
грузочный; 7 — смотровое окно; 8 —
люк загрузочный; 9 — штуцер для
предохранительного клапана

Техническая характеристика смесителя

Производительность, кг/ч	300—100
Объем, м ³	3,2
Давление, МПа	
внутри аппарата	0,141
в рубашке	0,288
Мощность электродвигателя перемешивающего механизма, кВт	7,5
Мощность электродвигателя запорного устрой- ства, кВт	0,8
Коэффициент заполнения	0,6
Расход воды на охлаждение аппарата, м ³ /ч	2,1
Расход стерильной воды на охлаждение 670 кг среды, м ³	0,27
Габаритные размеры, мм	4800 1400 2100
Масса, кг	5140

5.2.4. Вибростерилизатор

Непрерывнодействующий стерилизатор вибрационного типа (рис. 5.4) состоит из горизонтального герметически закрытого желоба, эксцентрикового вибратора, расположенного в средней части желоба, муфт, уплотняющих устройств, бункера для сырья и приборов контроля параметров процесса.

Желоб по длине разделен на три части: загрузочную, которая выполняет функции дозатора; стерилизационную, расположенную в муфте, где происходит нагрев и стерилизация среды при температуре 130—140 °С, и засевную, расположенную в другой муфте, где происходит охлаждение и увлажнение среды при добавлении холодной стерильной воды, ее засев и перемешивание.

Пшеничные отруби из бункера поступают в загрузочную часть вибростерилизатора, высота слоя устанавливается с помощью регулирующего шибера. Дозирование отрубей регулируется частотой колебаний, сообщаемых вибратором. Отруби или другое сырье, перемещаясь по виброжелобу, стерилизуются теплом радиации при установленной температуре. Затем они поступают в засевную часть, охлаждаются водой, поступающей в змеевики, а также стерильной холодной водой, предназначенной для увлажнения отрубей. После охлаждения в аппарат подается дозированное количество суспензии конидии гриба и за счет виброимпульсов, непрерывно сообщаемых желобу вибратором, происходит интенсивное перемешивание среды.

Подача стерильной питательной среды в растительную камеру дозируется этим же вибростерилизатором.

Техническая характеристика вибростерилизатора

Производительность по культуре гриба, т/сут	3,5
Температура стерилизации, °С	120—140
Частота колебаний, Гц	5—29,5
Амплитуда колебаний, мм	4
Мощность электродвигателя, кВт	4,5
Габаритные размеры, мм	14 000 × 1500 × 1400
Масса, кг	5840

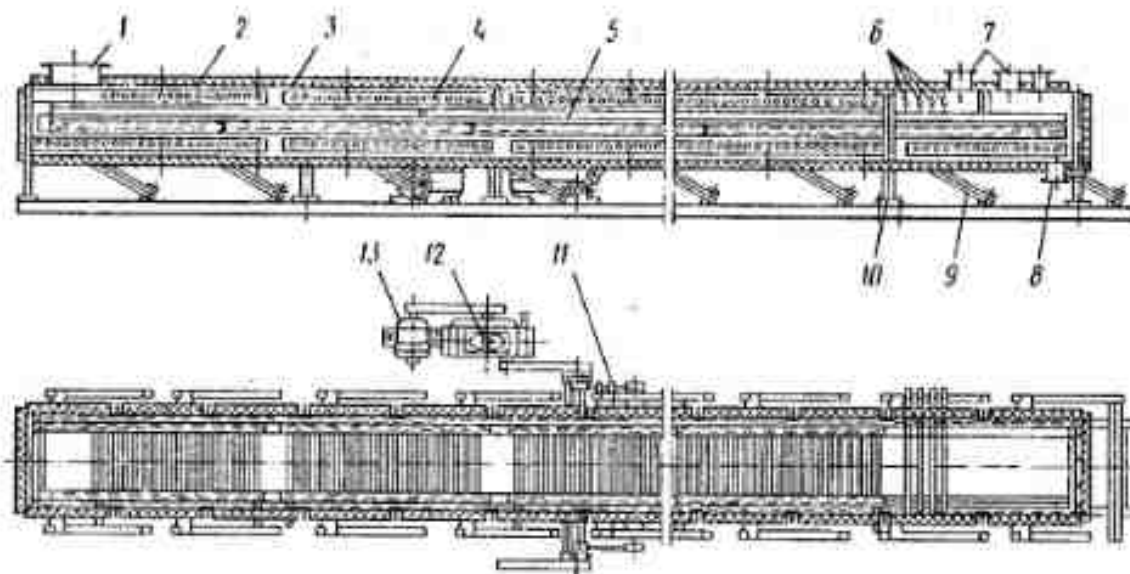


Рис. 5.4. Вибростерилизатор:

1 — люк загрузочный; 2 — каркас; 3 — теплоизоляционные плиты; 4 — нагреватель трубчатый; 5 — лоток вибрационный; 6 — трубы для разбрызгивания стерильной воды; 7 — штуцер для подачи посевной культуры; 8 — штуцер разгрузочный; 9 — упругие связи; 10 — рама; 11 — вибратор; 12 — вариатор; 13 — электродвигатель

Субстрат нагревается теплом от внешних источников теплопередачей; внутри субстрата тепло распространяется за счет теплопроводности вещества и наличия в нем неравномерных температурных полей. При этом скорость нагрева зависит от формы и объема материала и ограничена величиной теплового градиента. Существенными недостатками использования пара для стерилизации являются необходимость герметизации и изоляции стенок корпусов аппаратов, неравномерность распределения пара в стерилизуемой массе даже при ее перемешивании, что приводит к неравномерному нагреву среды; использование вспомогательного теплоэнергетического оборудования; комкование питательной среды в процессе стерилизации; клейстеризация крахмала, что значительно ухудшает процесс роста культуры.

5.2.5. Стерилизация сред токами высокой частоты

Принципиальное отличие высокочастотного нагрева материалов заключается в том, что нагревание материала до требуемой температуры достигается очень быстро в результате непосредственного преобразования энергии токов высоких частот в тепловую. Скорость нагрева в каждой частице материала определяется напряженностью электрического поля, электрофизическими параметрами материала и не зависит от его геометрической формы.

Стерилизатор (рис. 5.5) представляет собой транспортер, лента которого выполнена из многослойной ткани.

Высокочастотный стерилизатор непрерывного действия состоит из высокочастотного генератора, загрузочного бункера 1 с роторным дозатором, токоведущей шины 2, механизма перемещения пластин конденсатора 3, двух плоскостных пластин 4, ленточ-

ного термоустойчивого транспортера 5, расположенного внутри герметизированной и экранированной камеры и перемещающегося между пластинами конденсатора, дозатора стерильной воды 6, дозатора посевной суспензии 7, двухсекционного шнека 8, приводов шнека 9 и привода транспортерной ленты 10. По всей длине рабочей части транспортера устанавливаются заградительные бортики, определяющие профиль насыпного слоя.

Питательная среда дозирующим устройством загружается в бункер и равномерным слоем толщиной 30 мм поступает на ленту транспортера. Перемещаясь в зону высокочастотного электрического поля, создаваемого плоскопараллельным конденсатором, она нагревается до температуры стерилизации. По мере выхода из зоны нагрева питательная среда охлаждается за счет естественной теплоотдачи до 40—45 °C и затем сыпается с транспортерной ленты во вторую ступень, где происходит ее охлаждение и увлажнение.

Высокочастотное электрическое поле создается двумя электродами рабочего конденсатора, один из которых — высоковольтный — соединен с механизмом вертикального подъема электрода через высокочастотные керамические изоляторы. Вторым электродом является днище стерилизатора. Подъем или опускание высоковольтного электрода обеспечивают регулирование воздушного зазора между электродом конденсатора и поверхностью нагреваемого материала. Точность зазора по всей длине конденсатора обеспечивается кондуктором, три вертикальных стержня которого жестко связаны с верхним электродом неподвижными втулками.

Камера состоит из съемных алюминиевых тонкостенных листов. Для создания условий, исключающих возникновение спонтанной микрофлоры, в объеме стерилизационной камеры устанавливаются бактерицидные лампы 11 БУВ-30.

Работа дозирующего устройства синхронизирована с движением ленты транспортера, что обеспечивает непрерывность потока на-

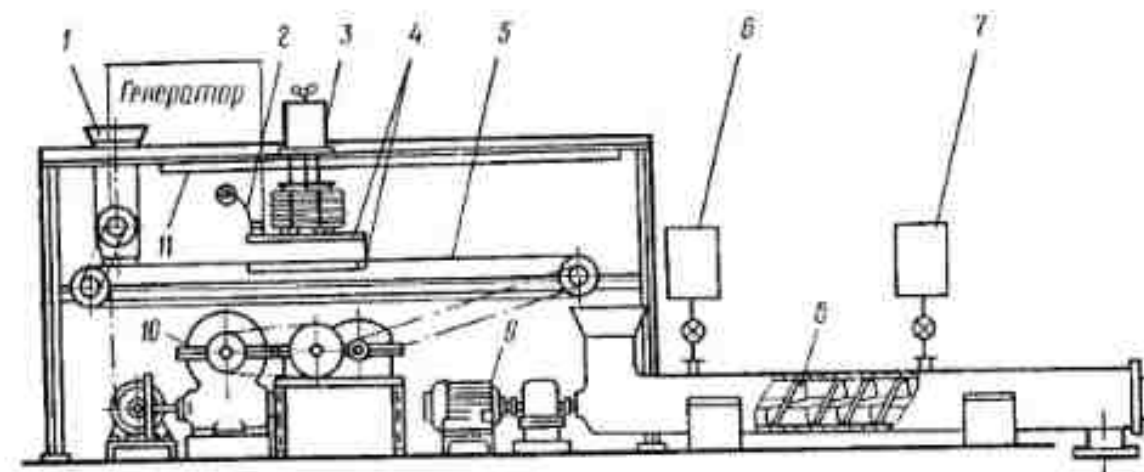


Рис. 5.5. Высокочастотный стерилизатор непрерывного действия:

1 — загрузочный бункер с роторным дозатором; 2 — токоведущая шина; 3 — механизм перемещения пластин конденсатора; 4 — пластины конденсатора; 5 — ленточный транспортер; 6 — дозатор стерильной воды; 7 — дозатор посевной суспензии; 8 — двухсекционный шнек; 9 — привод шнека; 10 — привод транспортера; 11 — бактерицидная лампа

сыпного слоя. Электрическая связь между стерилизатором и высокочастотным генератором осуществляется при помощи высокочастотного проходного изолятора, укрепленного в корпусе камеры. Управление стерилизатором ведется с пульта.

Стерилизация ряда материалов токами высокой частоты показала, что этот способ высокоэффективен и обеспечивает высокую стерильность среды.

Так, при внесении отрубей, свекловичного жома, солодовых ростков и бишрота в электрическое поле, создаваемое электродами рабочего конденсатора размерами 800×500 мм на расстоянии 30—80 мм при напряженности поля объекта 300 В/см и частоте тока 13—40,6 МГц, можно достичь температуры в пределах 140—180 °С. При экспозиции от 120 до 180 с достигается полная стерильность компонентов среды с влажностью 10—12 %. При этом время стерилизации сокращается в 12—30 раз по сравнению со стерилизацией паром.

Высокочастотная стерилизация имеет следующие преимущества перед паровой: непрерывность процесса, скорость прогрева массы материала в 18—20 раз выше, сравнительно простое осуществление автоматизации, регулирования и контроля процесса, улучшение технологических свойств продукта (в том числе активности ферментов).

Техническая характеристика высокочастотного стерилизатора непрерывного действия

Производительность, кг/ч	300
Генератор высокочастотный	
тип	ЛДЦ-40М
мощность, кВт	40
Привод ленты для редуктора, тип	РЧП-120
Мощность электродвигателя, кВт	1,1
Габаритные размеры, мм	1870×1780×2250
Частота вращения шнека-смесителя, с ⁻¹	0,15
Мощность электродвигателя, кВт	1,1
Размеры шнека, мм	
диаметр	325
длина	6000

5.2.6. Стерилизация с помощью ионизирующего излучения

Прогрессивным процессом стерилизации компонентов питательной среды в промышленности является стерилизация с применением ионизирующего излучения.

Обработка компонентов питательной среды ионизирующим излучением в дозах от 0,5 до 2,5 млн. рад позволяет получать полностью стерильные среды. При этом температура среды повышается всего на несколько градусов, а продолжительность обработки составляет несколько секунд. В процессе обработки разрушается структура среды, абсорбционная способность увеличивается на 12—13 %, содержание крахмала уменьшается на 14—27 %, а содержание растворимых сахаров увеличивается на 20—32 %.

В настоящее время серийно изготавливаются ускорители электронов четырех типоразмеров, с помощью которых можно стерилизовать компоненты среды и сократить продолжительность цикла до 30—60 с (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Техническая характеристика сильноточных ускорителей

Показатель	ЭЛТ-1	ЭЛТ-2,5	ЭЛНТ-1А	ЭЛИТ
Энергия, МэВ	0,3—1,5	0,6—2,5	0,3—1,0	0,6—3,0
Средняя мощность при максимальной энергии, кВт	25	40	10	10—30
Размеры ускорителя, мм				
высота	2400	4300	700	2400
диаметр	1300	1820	1000	1300

5.3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СТЕРИЛИЗАЦИИ ЖИДКИХ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД

Стерилизация питательной среды может быть осуществлена в стерилизаторах периодического и непрерывного действия. Стерилизация небольших объемов питательной среды чаще всего производится непосредственно в ферментаторах.

При стерилизации сложных сред следует иметь в виду, что некоторые компоненты питательной среды, чаще всего азотсодержащие, требуют более мягкого режима стерилизации, поэтому их стерилизуют отдельно в специальных аппаратах, называемых сателлитами.

5.3.1. Сателлит

Сателлит представляет собой цилиндрический аппарат вертикального типа, изготовленный из нержавеющей стали. Он имеет объем от 30 до 50 м³ и рассчитан для работы при давлении 280—480 кПа.

Сателлит снабжен люками для загрузки и выгрузки компонентов среды, штуцерами для подачи и выхода пара, воздуха, воды, а также перемешивающим устройством пропеллерного типа с частотой вращения до 2,5 с⁻¹. На аппарате установлены приборы для измерения и регулирования давления и температуры, люк для механической мойки аппарата и предохранительный клапан.

Для фильтрации пара на паровом трубопроводе установлен решетчатый фильтр. Стерилизация среды производится при автоматическом контроле и регулировании температуры и времени.

При быстром охлаждении после стерилизации в сателлитах может образовываться вакуум, поэтому охлаждение аппарата после стерилизации следует производить при предварительной подаче в аппарат под давлением стерильного воздуха. Выгрузку среды из

аппарата также следует производить при непрерывном подводе стерильного воздуха. Несоблюдение этих мер предосторожности может привести к сильному разряжению в аппарате и выводу его из строя.

Изготавливаемые в последнее время сателлиты снабжены системой блокировки, предотвращающей возможность образования вакуума в аппарате и поддерживающей постоянное давление на уровне 280—480 кПа.

Периодический режим стерилизации имеет существенные недостатки: низкую производительность, высокие удельные расходы пара, воды и электроэнергии. Стерилизация среды непосредственно в аппарате приводит к неэффективному использованию ферментатора и снижению питательной ценности компонентов питательной среды. Более прогрессивными установками, применяемыми для стерилизации жидких питательных сред, являются установки непрерывного действия.

5.3.2. Установки непрерывной стерилизации жидких питательных сред

Непрерывная стерилизация имеет много преимуществ по сравнению с периодической: быстрое достижение стерильности (около 1 мин), что позволяет увеличить производительность оборудования; возможность повышения выхода целевых продуктов в связи с тем, что при непрерывной стерилизации деструкция питательных веществ среды минимальная благодаря короткой экспозиции; меньший расход пара в результате использования прямого инжектирования паром.

Установка непрерывной стерилизации производительностью 5 м³/ч. Установка непрерывной стерилизации состоит из приемника, нагревателя, выдерживателя, охладителя, насосов, фильтров для среды, пара, а также системы автоматического контроля и регулирования параметров процесса.

Сборник для приема и хранения нестерильной питательной среды представляет собой цилиндрический аппарат емкостью 10 м³ с крышкой, на которой расположен привод перемешивающего устройства и необходимые штуцера. Аппарат снабжен рубашкой для охлаждения среды и поэтому пригоден для ее длительного хранения в случае производственной необходимости. В нижней части аппарата расположен спускной штуцер, над отверстием которого установлен экран для предотвращения воронкообразования при полной выгрузке среды из аппарата и возможного при этом проскока воздуха в нагреватель.

Для очистки среды от частиц более 0,8 мм применяют двухступенчатую очистку. На линии подачи среды в нагреватель установлен фильтр в виде проволочной сетки из нержавеющей стали с ячейками 0,8 × 0,8 мм. Дополнительная очистка происходит на фильтрующем стекле, изготовленном из такой же сетки и расположенном на входном штуцере расходомера.

Подача среды в нагреватель производится вихревым насосом. Нагреватель состоит из вертикального цилиндрического корпуса, крышки и двух сопел. На корпусе расположены штуцера для ввода питательной среды и водяного пара. Между верхним и нижним участками стерилизатора расположен конус, по которому нагретая среда равномерным тонким слоем направляется в выдерживатель. Выдерживатель представляет собой змеевик, состоящий из одиннадцати витков трубы диаметром 89 мм, общей длиной 3,4 м. Объем выдерживателя равен 170 л и обеспечивает продолжительность выдерживания при температуре 140 °С около 2 мин.

Для охлаждения стерильной питательной среды до 40 °С применяют теплообменник типа «труба в трубе» с диаметрами 76 и 133 мм и общей поверхностью охлаждения, равной 20 м².

Принцип работы установки заключается в быстром нагревании среды до температуры стерилизации 120—140 °С при непосредственном контакте с водяным паром, ее выдерживании в непрерывном потоке в течение 2—15 мин и последующем быстром охлаждении до 35—45 °С. До начала стерилизации питательной среды все узлы УНС-5 (нагреватель, выдерживатель, теплообменник, пробник и коммуникации) стерилизуют паром в течение 4 ч. После стерилизации оборудования включаются приборы автоматического контроля и регулирования параметров процесса, задается режим стерилизации среды. УНС-5 соединена с ферментатором, в который предварительно подается стерильный воздух давлением 76—96 кПа.

Чрезвычайно важным фактором для нормальной работы стерилизационной установки непрерывного действия является надежная работа реакторов-смесителей для подготовки среды. Образование заторов в потоке питательной среды и замирения в реакторе-смесителе создают помехи при подаче среды и нарушают равномерность загрузки установки.

Во избежание проникновения воздуха на трубопроводе, соединяющем реактор-смеситель с УНС, устанавливают обратный клапан, регулирующий давление.

Процесс стерилизации питательной среды осуществляется автоматически по заданному режиму с помощью регулирующих приборов, к которым относятся приборы контроля уровня среды в приемнике, скорости подачи среды в выдерживателе, давления подаваемой насосом среды и на выходе из выдерживателя и давление пара на регулирующий клапан установки. Регулируемыми параметрами являются температура среды в нагревателе и давление среды на выходе из выдерживателя.

Техническая характеристика стерилизационной установки УНС-5

Производительность, м ³ /ч	5
Вместимость нагревателя, л	25
Время нахождения среды в нагревателе, с	19
Тип выдерживателя	Змеевик
Вместимость выдерживателя, л	170
Диаметр труб, мм	89

Средняя скорость среды в выдерживателе, м/с	0,28
Тип теплообменника для охлаждения среды	Труба в трубе
Площадь поверхности охлаждения, м ²	20
Расход пара, кг/ч	1000
Разбавление среды конденсатом, %	20

Недостатками системы УНС-5 являются малая производительность при больших габаритных размерах установки, большой расход пара, воды, низкий коэффициент использования тепла, применение несовершенных типов теплообменного оборудования. Большая металлоемкость выдерживателя, большая занимаемая площадь, сложность очистки внутренних поверхностей и низкая степень турбулизации среды.

Установка непрерывной стерилизации производительностью 20 м³/ч. В настоящее время разработаны более прогрессивные установки непрерывной стерилизации производительностью 20, 50, 100, 200 и 300 м³/ч. В отличие от УНС-5 в установке УНС-20 предусмотрена возможность рекуперации до 77 % тепла, применение эффективной теплообменной аппаратуры пластинчатого типа и выдерживателя специальной конструкции, в котором удлиняется путь потока среды и интенсифицируется процесс перемешивания.

УНС-20 (рис. 5.6) состоит из приемника питательной среды, центробежных насосов, нагревателя, емкостного выдерживателя, рекуператора тепла, теплообменника и системы автоматического регулирования параметров процесса.

До начала работы все аппараты, трубопроводы и арматура УНС стерилизуются острым паром. Водяной пар подается в нагреватель по обводной линии регулирующего клапана расхода пара, а затем в выдерживатель, рекуператор тепла и по обводной линии регулирующего клапана давления — в охладитель. Одновременно открываются вентили сброса конденсата и по достижении во всей линии температуры не менее 140 °С фиксируется время начала стерилизации. По окончании стерилизации сброс конденсата закрывается,

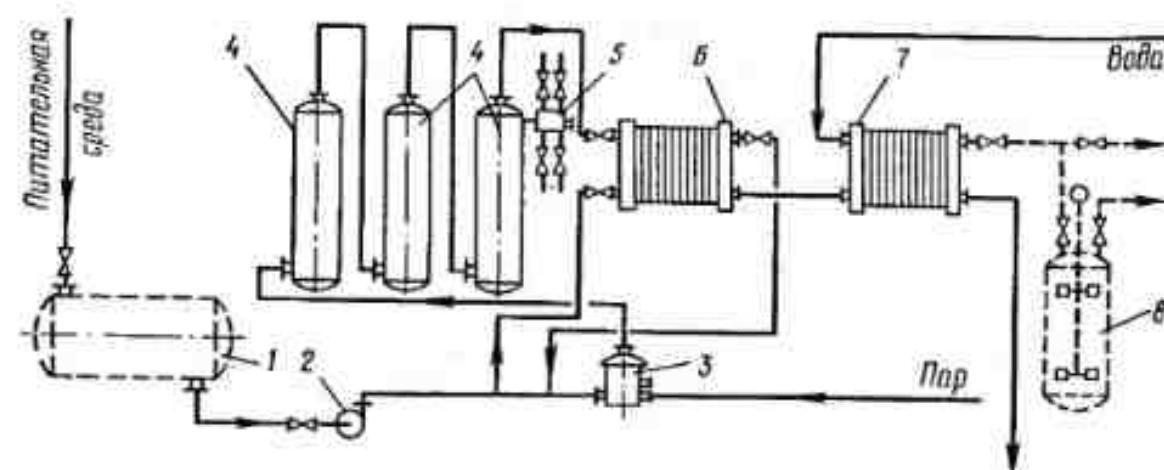


Рис. 5.6. Установка непрерывной стерилизации УНС-20:

1 — приемный резервуар; 2 — насос; 3 — нагреватель-стерилизатор; 4 — выдерживатель; 5 — отборник проб; 6 — теплообменник-рекуператор; 7 — теплообменник-охладитель; 8 — ферментатор

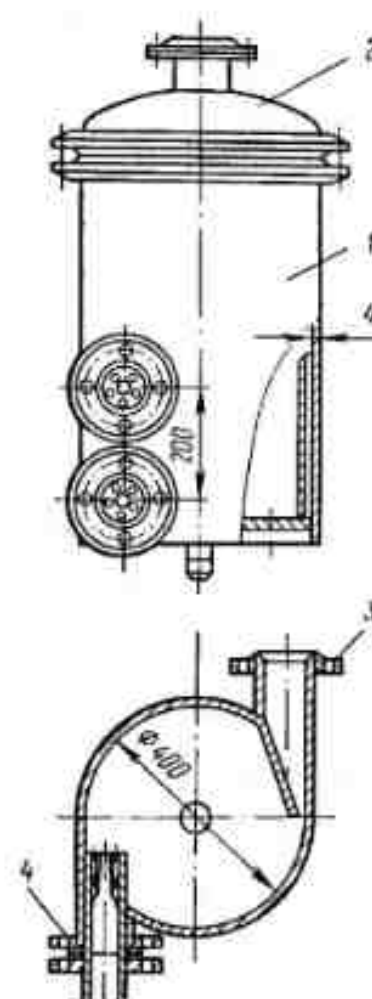
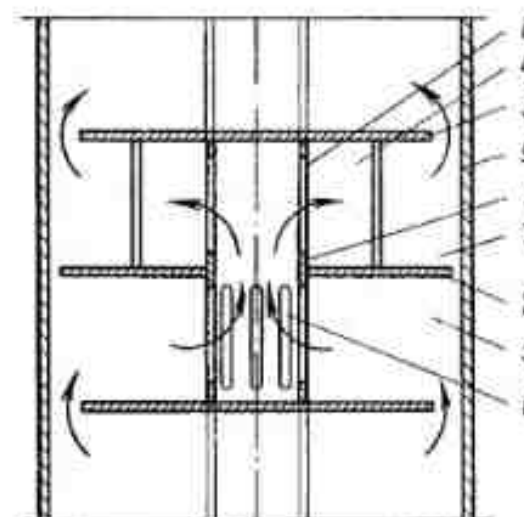


Рис. 5.7. Нагреватель установки УНС-20

Рис. 5.8. Выдерживатель установки УНС-20



включаются приборы автоматического регулирования и устанавливается режим работы УНС. Вентили обводных линий перекрываются, и каналы питательной среды охладителя соединяются со стерильным ферментатором.

Одновременно в охладитель подают охлаждающую обратную воду. По достижении стабильных значений давления и температуры из реактора-смесителя, в котором все компоненты питательной среды тщательно смешиваются, нестерильная среда поступает в приемник, откуда центробежным насосом подается через узкую вертикальную щель в нагреватель со скоростью 3,5 м/с. При малом уровне среды над заборным отверстием приемной емкости во время ее опорожнения образуется воронка, при этом возможны засасывание нестерильного воздуха и инфицирование стерилизуемой среды. Для предотвращения этого в плоскости, параллельной поперечному сечению сливного отверстия, на высоте 40 мм устанавливают экранирующую плоскую шайбу.

В нагреватель (рис. 5.7), представляющий собой цилиндрический сосуд 1 с эллиптической крышкой 2 вместимостью 100 л, через сопла диаметром 2,5 мм расположенного на корпусе тангенциального штуцера 4 подается пар давлением 0,6 МПа, а через штуцер 3 — среда в количестве 1,5 м³/ч. Среда быстро нагревается

до 130 °С и при этом образуется конденсат пара в количестве 0,5 м³/ч. Из нагревателя среда тангенциально подается в нижний патрубок емкостного выдерживателя, внутри которого расположены ряд секций, образующих сообщающиеся цилиндрические камеры. После этого среда подается в пластинчатый теплообменник-рекуператор тепла. В рекуператоре среда нагревает исходную нестерильную среду, которая затем поступает в нагреватель, а сама охлаждается до 90 °С. Из рекуператора стерильная среда поступает в ферментатор при предварительном охлаждении в пластинчатом теплообменнике, а нестерильная питательная среда из рекуператора поступает в нагреватель.

Выдерживатель (рис. 5.8) представляет собой цилиндрический сосуд с двумя эллиптическими крышками, внутри которого по высоте расположены 10 секций. Каждая секция состоит из центрального патрубка 1 с диском 2, насаженного на патрубок диска 3, приваренного на конце патрубка и направляющих 4. Секции образуют два ряда цилиндрических камер: нижние 5, из которых среда через прорези 6 входит в центральный патрубок 1, и верхние 7, в которые среда с большой скоростью выходит через узкие щели 8 из центрального патрубка. С помощью направляющих среда завихряется, что способствует лучшему перемешиванию. Далее среда перемещается в следующую секцию через кольцевой зазор между диском 3 и обечайкой аппарата 9. Проходя последовательно снизу вверх через все камеры питательная среда выдерживается при заданной температуре в течение заданного времени. Из верхнего патрубка, расположенного на крышке выдерживателя, она выходит и поступает через нижний штуцер во второй выдерживатель, а затем — в третий выдерживатель. Диаметр выдерживателя равен 600 мм, высота — 6000 мм, вместимость одного выдерживателя — 1,7 м³. Емкостный выдерживатель легко разбирается и в случае необходимости механически очищается.

Для сохранения температуры среды выдерживатель покрыт слоем теплоизоляции толщиной в 35 мм, а соединительные трубы — слоем в 50 мм.

Рекуператор тепла представляет собой пластинчатый разборный теплообменник с поверхностью теплообмена 100 м².

В процессе рекуперации тепла стерильная и нестерильная питательные среды движутся тонким слоем в извилистых щелевидных каналах, образуемых каждой парой пластин, причем каждая пластина омывается с одной стороны горячей, а с другой стороны холодной средами. Благодаря гофрированной поверхности пластин устанавливается развитый турбулентный режим движения жидкостей, что обеспечивает между ними интенсивный теплообмен. Эффективность работы рекуператора тепла характеризуется коэффициентом рекуперации, который для УНС-20 составляет 77 %.

Установка оснащена контрольно-измерительными приборами, обеспечивающими автоматическое регулирование процесса.

Установка непрерывной стерилизации производительностью 50 м³/ч. Установка включает нагреватель емкостью 0,25 м³, пла-

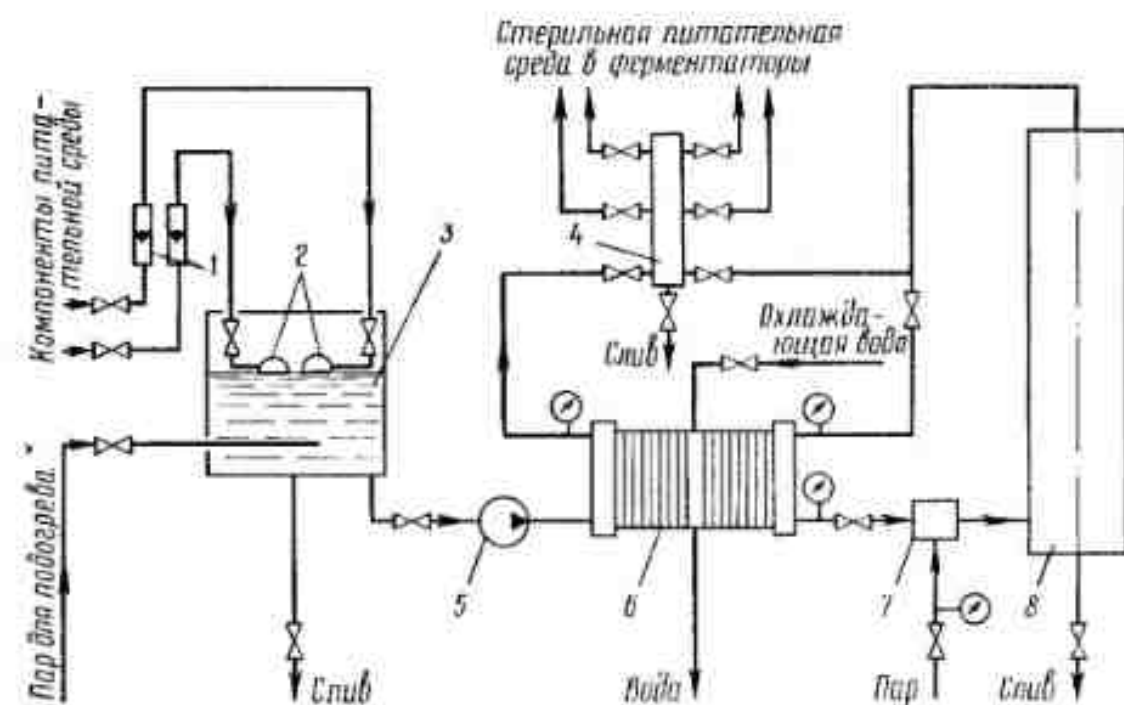


Рис. 5.9. Установка непрерывной стерилизации фирмы «Де-Лаваль» (Франция):

1 — ротаметр; 2 — регулирующий клапан; 3 — уравнительный бак; 4 — гребенка; 5 — насос; 6 — теплообменник и рекуператор тепла; 7 — смеситель-нагреватель; 8 — выдерживатель.

стинчатый рекуператор с площадью поверхности теплообмена 125 м², пластинчатый теплообменник площадью поверхности теплообмена 80 м², три выдерживателя емкостью 5,1 м³, фильтр для питательной среды поверхностью фильтрации 0,6 м² и центробежный насос производительностью по среде 65 м³/ч и напором 82 м. Температура стерилизации 140 °С, время выдерживания при температуре стерилизации 6 мин, температура охлаждаемой питательной среды 30 °С.

В микробиологической промышленности применяются емкостные и трубчатые выдерживатели. Емкостные выдерживатели конструктивно более сложны, и в них труднее достичь равномерность потока по сравнению с трубчатыми. Выдерживатель трубчатый работает в режиме поршневого течения, а это обеспечивает одинаковый стабильный эффект для всех проходящих в трубе микробных частиц. Трубчатый выдерживатель состоит из вертикальных труб диаметром 400—600 мм, соединенных последовательно и покрытых теплоизоляционным слоем. Общая длина труб зависит от времени выдерживания среды.

Установка непрерывной стерилизации фирмы «Де-Лаваль». Установка (рис. 5.9) состоит из уравнительного бака для воды 3, питательного насоса 5, рекуператора 6, нагревателя для конечного подогрева продукта, выдерживателя, теплообменника, для конечного охлаждения продукта, теплообменника для промежуточного охлаждения воды, приборов КИП и щита управления установкой.

Работу установки непрерывной стерилизации можно разделить на три цикла: стерилизация оборудования, стерилизация питательной среды, промывка и очистка.

Из смесителя среда перекачивается насосом на установку. Величина расхода регулируется питательным насосом. Среда проходит через теплообменник, предварительно подогревается до 90—120 °С возвращаемой из выдерживателя стерильной, нагретой до 140 °С питательной средой, после чего нагревается до температуры стерилизации (примерно 140 °С) в теплообменнике. В выдерживателе среда выдерживается в течение 1—2 мин. Таким образом, теплота рекупируется в теплообменнике. До поступления среды в ферментатор она охлаждается дополнительно до температуры 40 °С в пластинчатом теплообменнике.

Коэффициент рекуперации теплоты составляет 60—70 %.

Стерилизационная установка непрерывного действия может управляться вручную и может быть автоматизирована по всему технологическому процессу.

5.4. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

В микробиологических производствах многие технологические процессы (гидролиз полисахаридов, стерилизация питательных сред, концентрирование целевых продуктов, стерилизация аппаратов, культивирование микроорганизмов в асептических условиях) относятся к теплообменным. Они характеризуются большими затратами тепла или его выделением.

Для этой цели широко используются различные конструкции теплообменных аппаратов для охлаждения или нагревания жидких и газообразных сред. В зависимости от технологического режима процессов подбирают соответственно и метод нагревания или охлаждения.

5.4.1. Классификация и выбор типа теплообменных аппаратов

По способу передачи тепла теплообменные аппараты подразделяются на смесительные и поверхностные. В смесительных теплообмен происходит при непосредственном контакте теплоносителей путем их смешивания. Эти теплообменники имеют ограниченное применение и используются главным образом при гидролизе древесины и стерилизации и разваривании питательных сред, для нагревания воды.

В поверхностных аппаратах теплоносители разделены теплопроводной стенкой, через которую передается тепло.

В зависимости от назначения теплообменных аппаратов различают подогреватели, реакторы, дефлегматоры, холодильники, испарители, конденсаторы и собственно теплообменники. В последних оба процесса — нагревание холодного теплоносителя и охлаждение горячего — являются основными.

В зависимости от агрегатного состояния теплоносителей различают аппараты для теплообмена: между двумя газами (подогреватели газов топочными газами, газовые теплообменники и др.), между паром и газом (паровые подогреватели воздуха, пароперегреватели и др.), между газом и жидкостью (холодильники для газов), между паром и жидкостью (паровые подогреватели, конденсаторы и др.), между двумя жидкостями (жидкостные холодильники, теплообменники и др.).

Движение теплоносителей может быть прямоточное, противоточное, перекрестное, смешанное.

Рассмотрим поверхностные теплообменные аппараты, наиболее часто используемые в микробиологической промышленности. По конструкции они бывают кожухотрубными, типа «труба в трубе», змеевиковыми, пластинчатыми, спиральными.

При выборе теплообменников в первую очередь обращают внимание на возможность повышения коэффициента теплопередачи, который растет с увеличением скорости теплоносителей. При этом следует иметь в виду, что увеличение скорости одного из теплоносителей заметно повышает коэффициент теплопередачи только в том случае, если коэффициент теплопередачи со стороны второго теплоносителя достаточно высок, а тепловое сопротивление стенки и образующегося загрязнения мало. Кроме того, при этом растет и гидравлическое сопротивление. Коэффициент теплопередачи уменьшается при загрязнении поверхностей теплообмена, поэтому поверхность должна быть доступной для удаления образующихся загрязнений.

При рассмотрении вопроса о том, какой теплоноситель в проектируемом теплообменнике следует пропускать по трубам и какой по межтрубному пространству, желательно придерживаться следующих условий: загрязненный или выделяющий осадки теплоноситель целесообразно пропускать по наиболее доступной для очистки поверхности теплообмена; чтобы коэффициент теплопередачи был наибольшим, теплоноситель с меньшим коэффициентом теплоотдачи следует пропускать через трубы; если охлаждению или нагреванию подвергается корродирующий продукт, то при проектировании теплообменника для изготовления труб, решеток и камер следует предусматривать антикоррозионный материал, кожух при этом может быть изготовлен из обычного металла; в нагревателях для уменьшения потерь теплоты теплоноситель с высокой температурой необходимо пропускать по трубам; в холодильниках происходит потеря теплоты в окружающую среду, что уменьшает расход охлаждающего теплоагента, и поэтому горячий теплоноситель целесообразно пропускать через межтрубное пространство; чтобы корпус не подвергался давлению, и во избежание излишней толщины стенок кожуха теплоноситель с высоким давлением необходимо пропускать по трубам.

Скорость пропускания теплоносителей в теплообменниках принимают для газов до 25 м/с, для насыщенных паров при конденсации — до 10 м/с, для жидких сред — до 3 м/с.

Кожухотрубные одноходовые теплообменники целесообразно использовать при пропускании по трубам большого объема теплоносителя (газовые теплообменники, теплообменники между газом и жидкостью), а также как конденсаторы паров органических жидкостей. Кожухотрубные многоходовые теплообменники используются как жидкостные теплообменники или при теплообмене между конденсирующимся паром и жидкостью (конденсаторы пара и подогреватели жидкости), когда жидкость проходит по трубам, а пар — по межтрубному пространству.

Теплообменники типа «труба в трубе» малопроизводительны и используются для теплообмена между двумя жидкостями, между жидкостью и конденсирующимся паром или как холодильники для газов при высоком давлении.

Змеевиковые теплообменники применяют в основном в качестве холодильников жидкостей, конденсаторов паров, подогревателей жидкости; часто используются для корродирующих теплоносителей.

Пластинчатые теплообменники применяются для нагрева и охлаждения жидких теплоносителей, а также для теплообмена между газами при атмосферном давлении в основном как калориферы для подогрева воздуха дымовыми газами.

Спиральные теплообменники применяются при давлении не более 0,6—1 МПа для теплообмена между жидкостями и реже — между жидкостью и конденсирующимся паром. Но, имея конструктивные преимущества, они вытесняют постепенно теплообменники других типов.

5.4.2. Кожухотрубные теплообменные аппараты

Кожухотрубные теплообменные аппараты имеют широкое применение в микробиологических производствах для нагрева и охлаждения жидких и газообразных сред. Они состоят из пучка труб, концы которых закреплены в специальных трубных решетках, расположенных внутри общего кожуха. Один из теплоносителей движется по трубам, а другой — в пространстве между кожухом и трубами — межтрубном пространстве. Продукт, который может легко загрязнять поверхность теплообмена и этим ухудшать условия теплопередачи, следует подавать через трубы, поскольку трубы легко промывать, в то время как очистка межтрубного пространства осложнена.

На рис. 5.10 показаны кожухотрубные теплообменные аппараты. Кожухотрубные теплообменники бывают одноходовыми (рис. 5.10, а) и многоходовыми (рис. 5.10, б). В одноходовых аппаратах теплоноситель и продукт движутся параллельно друг другу прямотоком или противотоком. В многоходовых аппаратах теплоноситель или продукт несколько раз изменяют свое направление, продвигаясь смешанным током. Для изменения направления теплоносителя в теплообменнике установлены специальные перегородки. На рис. 5.10, в показан пленочный теплообменный аппарат верти-

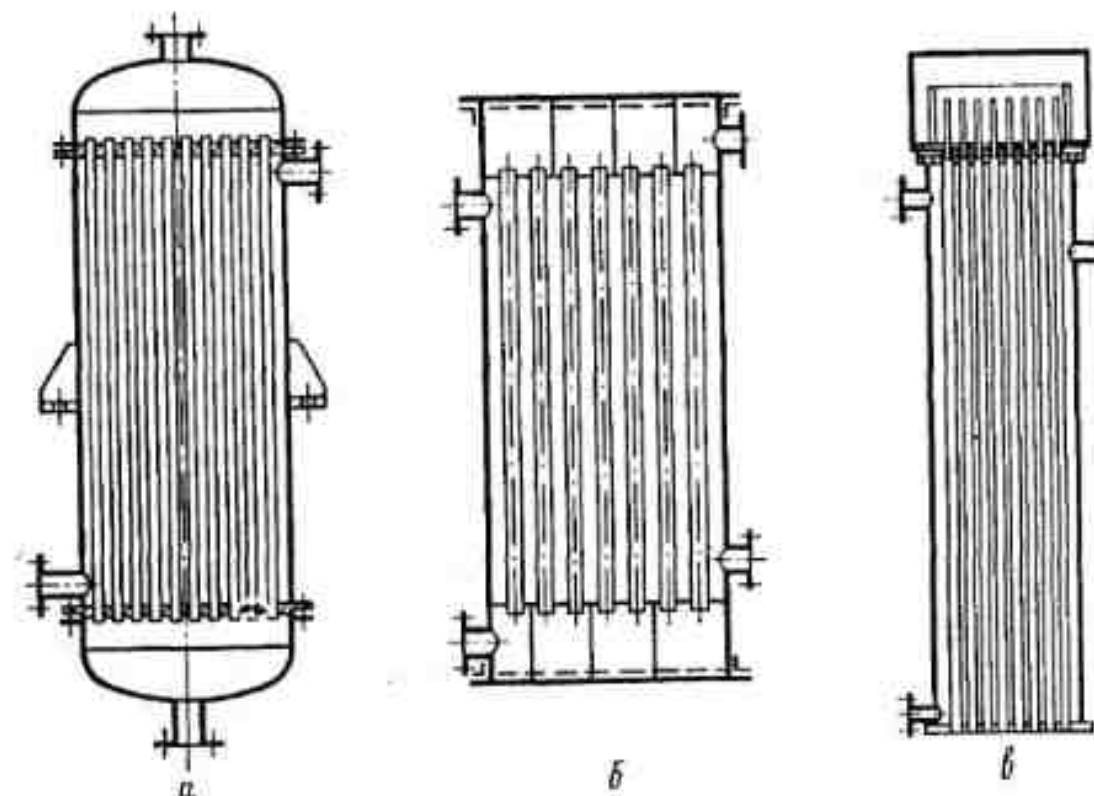


Рис. 5.10. Кожухотрубные теплообменники с неподвижными трубными решетками:

а — одноходовой; б — многоходовой; в — пленочный

кально-оросительный, в котором жидкий теплоноситель не заполняет всего сечения трубок, а стекает пленкой по внутренней поверхности вертикальных труб. Жидкость подается к стенкам труб специальными распыливающими насадками.

Теплообменники, показанные на рис. 5.10, относятся к аппаратам с неподвижными трубными решетками, в которых обе решетки жестко приварены к корпусу. В теплообменниках с неподвижными трубными решетками при различном тепловом удлинении труб и кожуха возникают температурные напряжения, поэтому эти теплообменники целесообразно применять при небольшой разности температур (до 50 °С) между трубами и кожухом. Для компенсации неодинакового удлинения труб и кожуха устанавливают специальные компенсаторы, обеспечивающие свободное удлинение труб: линзовые компенсаторы, подвижные трубные решетки, сальниковое закрепление труб в решетках, U-образные трубы (рис. 5.11).

В теплообменниках с подвижными трубными решетками одна решетка закреплена в кожухе, а вторая решетка остается подвижной и может перемещаться внутри аппарата. Пучок труб в таких теплообменниках может быть легко вынут из кожуха для осмотра и чистки межтрубного пространства.

Теплообменники с подвижной решеткой изготовляют следующих типов: теплообменники с плавающей головкой закрытого типа и открытого типа, теплообменники с сальниковым компенсатором на штуцере и на корпусе. Теплообменники с U-образными трубами

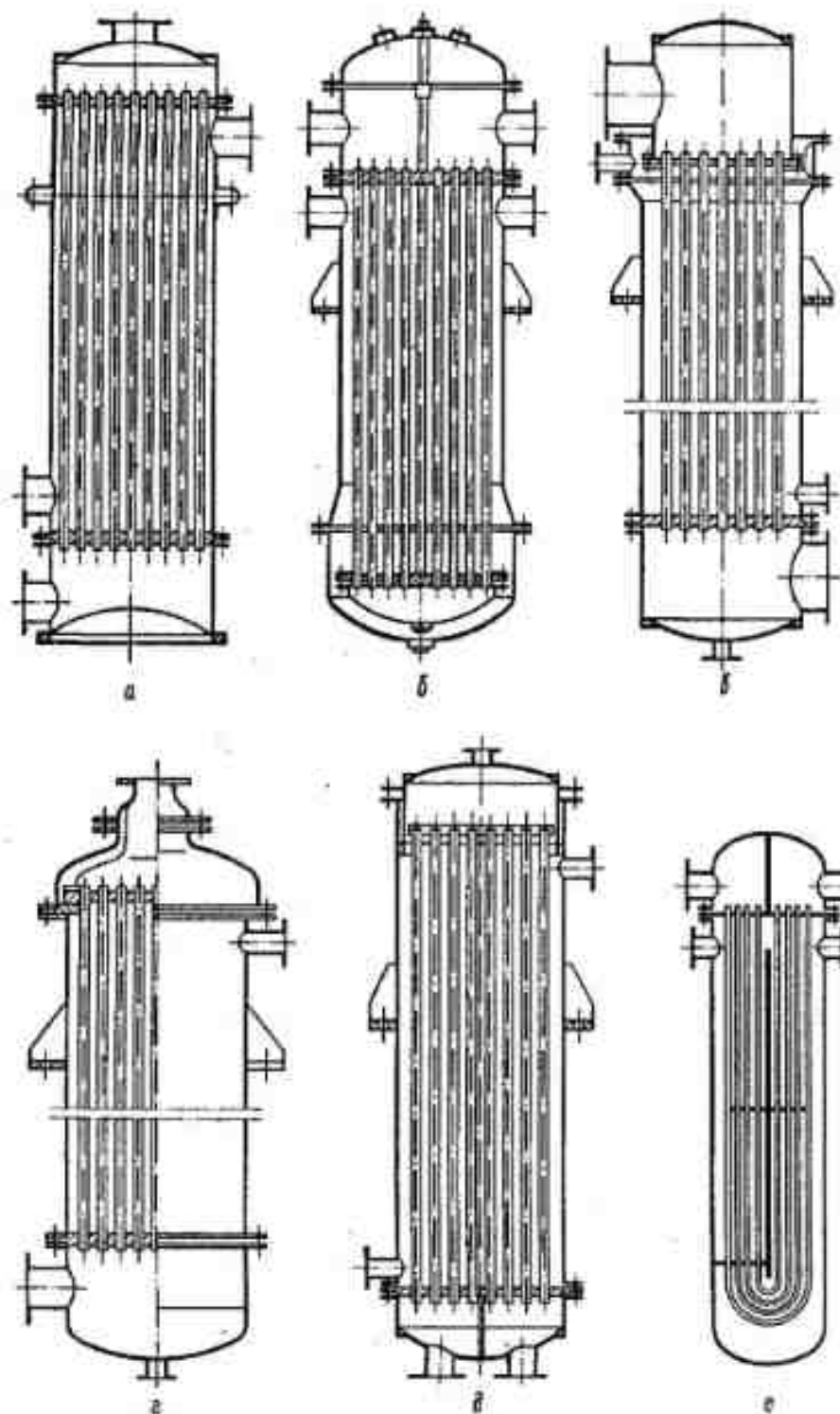


Рис. 5.11. Кожухотрубные теплообменники с компенсирующими устройствами:

а — с линейным компенсатором; б, в — с плавающей головкой; г, д — с сальниковым компенсатором; е — с U-образными трубами

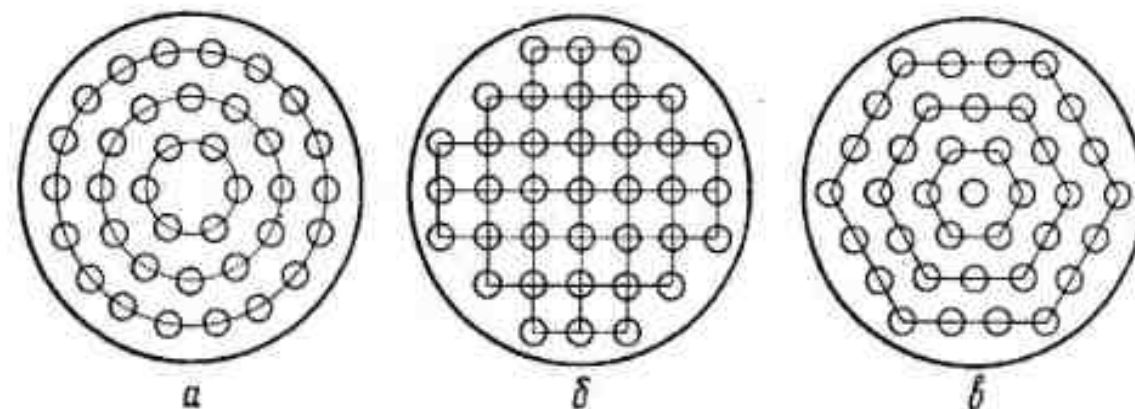


Рис. 5.12. Трубные решетки:

а — по концентрическим окружностям; б — по периметрам прямоугольников; в — по периметрам правильных шестиугольников

являются двухходовыми и имеют лишь одну трубную решетку: пучок труб может быть легко вынут из кожуха, однако очистка труб изнутри затруднена. Типы трубных решеток показаны на рис. 5.12.

Размещать трубы можно следующим образом: по концентрическим окружностям, по периметрам прямоугольников и по периметрам правильных шестиугольников.

Рассмотренные типы теплообменников могут устанавливаться вертикально или горизонтально, кроме пленочных, которые могут работать только вертикально. Эти аппараты применяются для теплообмена при температуре от -60 до $+600$ °С и давлении до 6,4 МПа. Коэффициент теплопередачи составляет для многих сред от 400 до 800 Вт/(м²·К).

Преимущества кожухотрубных теплообменников: небольшой расход металла, компактность, легкая очистка труб изнутри (за исключением U-образных труб).

Недостатки: затруднительность пропускания теплоносителей с большими скоростями (этот недостаток несколько устраняется в теплообменниках многоходовых и элементных), затруднена очистка межтрубного пространства и малая доступность его для осмотра и ремонта, затруднительность изготовления из материалов, не допускающих развальцовки (чугун, ферросилиций и др.).

Конструктивный расчет кожухотрубных аппаратов заключается в определении при заданном расходе жидкости скорости движения ее по трубам и плотности жидкости, площади проходного сечения трубок и размеров аппарата.

Площадь проходного сечения трубок одного хода (м²)

$$f_1 = G/(\rho_{ж}v),$$

где G — расход жидкости, кг/с; $\rho_{ж}$ — плотность жидкости, кг/м³; v — скорость движения, м/с.

Шаг размещения трубок в трубной решетке принимают в зависимости от их наружного диаметра:

при закреплении труб развальцовкой $t = (1,3 \div 1,5) d_n$;

при закреплении их сваркой $t = 1,25 d_n$.

По полученной из теплового расчета величине площади поверхности теплопередачи, среднему диаметру трубок $d_{ср}$ и их принятой длине l (реко-

мендуется принимать в пределах до 4 м) определяют количество трубок в теплообменнике:

$$n = F/(\pi d_{\text{ср}} l).$$

Средний расчетный диаметр $d_{\text{ср}}$ принимают в зависимости от соотношения коэффициентов теплоотдачи питательной среды (α_1) и воды (α_2), которые берутся из теплового расчета: при $\alpha_1 \approx \alpha_2$ $d_{\text{ср}} = 0,5 (d_{\text{в}} + d_{\text{н}})$; при $\alpha_1 \gg \alpha_2$ $d_{\text{ср}} = d_{\text{н}}$; при $\alpha_1 \ll \alpha_2$ $d_{\text{ср}} = d_{\text{в}}$.

Зная объемный расход жидкости V ($\text{м}^3/\text{с}$), скорость ее движения по трубкам v ($\text{м}/\text{с}$), их внутренний диаметр $d_{\text{н}}$ (м), можно определить число трубок в одном пучке (для многоходового теплообменника):

$$n_1 = 4V/(\pi d_{\text{н}}^2 v).$$

Число ходов в трубном пространстве теплообменника

$$z = n/n_1.$$

Общее число трубок, размещаемых на трубной решетке в пределах круга шестигранника

$$n = 0,75 (n_d^2 - 1) + 1,$$

где n_d — число трубок, размещаемых на диаметре трубной решетки.

$$n_d = \sqrt[3]{4F/(3t\beta f)},$$

где F — расчетная площадь поверхности теплопередачи, м^2 ; t — шаг между трубами, м ; β — отношение высоты или длины рабочей части теплообменника к его диаметру ($\beta = h/D = l/D = 3 \div 5$); f — площадь поверхности 1 пог. метра трубы выбранного диаметра, м^2 .

Внутренний диаметр кожуха (м), равный диаметру решетки,

$$D_{\text{к}} = (n_d - 1)t + 4d_{\text{н}}.$$

Полная длина (высота) теплообменника (м)

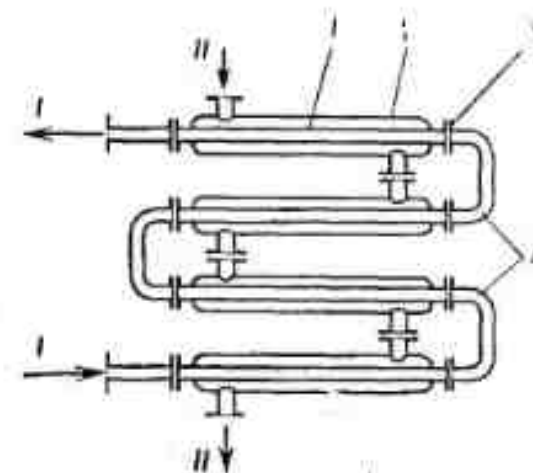
$$H = l + 2\delta_p + 2h,$$

где δ_p — толщина трубной решетки, м (для стальных трубок $\delta_p = 0,125 d_{\text{н}} + 0,005$, для медных трубок $\delta_p = 0,125 d_{\text{н}} + 0,01$); h — высота камеры, м ($h = 0,1 \div 0,2$ м).

5.4.3. Теплообменные аппараты типа «труба в трубе» и змеевиковые

Теплообменники типа «труба в трубе» используются для охлаждения стерильных питательных сред в непрерывном потоке, а змеевиковые — для нагревания при стерилизации питательных сред и конденсации паров. На рис. 5.13 показан двухтрубный теплообменник типа «труба в трубе», который состоит из внутренней трубы 1 и внешней трубы 2 большего диаметра. Обычно такой теплообменник представляет собой несколько последовательно соединенных друг с другом простых элементов, изготовленных из двух труб 4, которые легко соединяются с помощью фланца 3. В двухтрубных теплообменниках можно достичь высоких скоростей теплоносителя II и продукта I (до 3 $\text{м}/\text{с}$), поэтому при нагревании паром жидкостей коэффициент теплопередачи сравнительно высок (до 1000 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$).

Рис. 5.13. Теплообменник типа «труба в трубе»



Недостатками двухтрубных теплообменников являются их громоздкость, значительная металлоемкость в результате наличия соединительных патрубков и колен, которые находятся вне зоны теплообмена.

Конструктивный расчет этого типа теплообменников включает следующее.

Определение диаметра внутренней трубы d (м):

$$d = \sqrt{4G/(\pi \rho_{\text{ж}} v)},$$

где G — расход жидкости, $\text{кг}/\text{с}$; $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; v — скорость движения жидкости в трубе, $\text{м}/\text{с}$.

Зная площадь поверхности теплопередачи F (м^2), проводят определение общей длины трубы L (м):

$$L = F/(\pi d).$$

Общая длина трубы

$$L = F/6,28 \sqrt{\pi \rho_{\text{ж}} v/G}.$$

Число элементов аппарата

$$n = L/l,$$

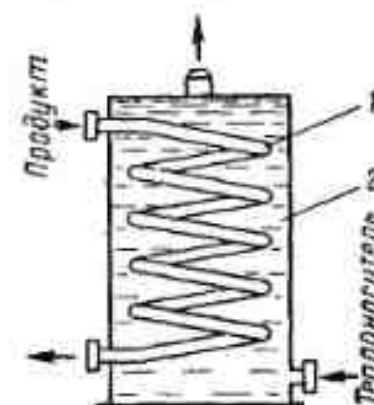
где l — длина одного элемента теплообменника, м ($l = 3 \div 6$ м).

Внутренний диаметр (м) наружной трубы

$$D_{\text{н}} = \sqrt{4V/(\pi v_1)} + d_{\text{н}},$$

где V — объемный расход жидкости в кольцевом пространстве труб, $\text{м}^3/\text{с}$; v_1 — скорость движения жидкости в кольцевом пространстве, $\text{м}/\text{с}$; $d_{\text{н}}$ — наружный диаметр внутренней трубы, м .

На рис. 5.14 показан змеевиковый теплообменник, который состоит из змеевика 1, погруженного в сосуд 2. Продукт, подвергаемый охлаждению или нагреванию, проходит по змеевику. В змеевиковых теплообменниках затруднена очистка внутренних поверхностей согнутых труб, но доступны осмотр, ремонт и очистка наружной поверхности теплообмена.



Змеевик имеет большое гидравлическое сопротивление, поэтому скорость движения продукта в нем ниже, чем в одноходовых кожухотрубных теплообменниках при одинаковом напоре жидкости. Скорость движения жидкого теплоносителя, омываю-

Рис. 5.14. Теплообменник змеевиковый

щего змеевик снаружи, небольшая, поэтому коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 , следовательно, и коэффициент теплопередачи K невелики.

Расчет змеевиковых теплообменников производится с учетом того, что по всей рабочей высоте она находится в жидкости, а по окружности отступает от внутренней стенки кожуха на 0,25—0,4 м.

При известном внутреннем диаметре кожуха диаметр витка змеевика (м)

$$D_n = D_k - 2(0,25 \div 0,4).$$

Длина трубы змеевика (м)

$$L_T = F / (\pi d_{ср}).$$

Длина одного витка змеевика (м)

$$l_n \approx \pi D_n.$$

Число витков змеевика

$$n = L / l_n.$$

Высота змеевика (м)

$$H = (n - 1) t,$$

где t — шаг спирали витка, м.

5.4.4. Пластинчатые теплообменные аппараты

Пластинчатые разборные теплообменные аппараты нашли широкое применение в микробиологической промышленности в процессах непрерывной стерилизации жидких питательных сред и конденсации паров, образующихся в гидролизатах. Они также используются в качестве дефлегматоров для частичной конденсации различных парогазовых смесей с целью обогащения их низкикипящими фракциями в процессах дистилляции и ректификации, а также как стерилизаторы и пастеризаторы при теплообмене между двумя, тремя и большим количеством рабочих сред. В пластинчатые теплообменники можно подавать рабочие среды, имеющие размер частиц до 4 мм и кинематическую вязкость до $60 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}$. Существенным преимуществом пластинчатых теплообменников являются быстрая и легкая разборка и сборка аппаратов, доступность для очистки теплопередающих поверхностей и сравнительно высокие коэффициенты теплопередачи для жидкостей [до $2500\text{—}3800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$]. Площадь поверхности теплопередачи разборных теплообменников достигает 500 м^2 . Их изготавливают из коррозионно-стойких материалов (титана, хромоникелевой стали и др.). Эти теплообменники могут работать при давлении до 1,6 МПа и температуре теплоносителей до 180°C .

Основными рабочими элементами теплообменника являются пластины, которые устанавливаются на станину в определенной последовательности. Часть теплообменника, охлаждаемая или обогреваемая одним теплоносителем и состоящая из одного или нескольких пакетов, называют секцией. Поверхность пластин имеет выступы и впадины, что обеспечивает непрерывное перемешивание жидкости, протекающей между пластинами тонким слоем. На

Рис. 5.15. Пластина теплообменника:

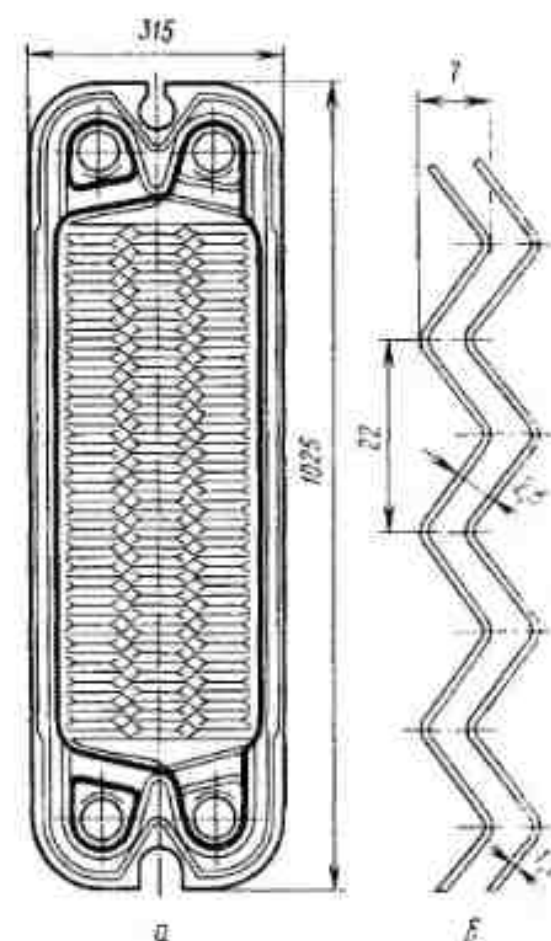
а — пластина; б — разрез двух пластин

рис. 5.15 показана пластина типа П-2. Между двумя пластинами образуется зигзагообразный канал для прохождения жидкости. Пластина в верхней и нижней частях имеет четыре отверстия, которые в собранном теплообменном аппарате образуют каналы для притока и отвода теплообмениваемой жидкостей. Полукруглые вырезы вверху и внизу пластины служат для установки пластин на станине. Уплотнение пластин создается резиновыми прокладками, приклеиваемыми по периферии пластин и вокруг отверстий. Пластины изготавливаются различной величины.

От количества пластин и их размера зависит производительность теплообменников, которая может достигать $550 \text{ м}^3/\text{ч}$.

На рис. 5.16 показана автоматизированная пластинчатая теплообменная установка типа АОЗ-У6 производительностью 6000 л/ч . Установка представляет собой охладитель 1, пульт управления 2, регулирующий клапан 3 на рассольном трубопроводе. Пластины 4 изготовлены из коррозионно-стойкой стали. Теплообменник имеет две секции, разделенные между собой специальной плитой 5. В зависимости от наличия и расположения сквозных отверстий на углах пластин в секциях образуются пакеты пластин с одним направлением потока жидкости. Пластины прижимаются к стойке 4 с помощью нажимной плиты 7 и нажимных устройств на тягах 8. Хладагентами могут быть вода, рассол, аммиак, фреон и др.

Удельная поверхность теплопередачи пластинчатых теплообменников достигает 200 м^2 на 1 м^3 объема рабочей зоны (трубчатые теплообменники имеют максимальную поверхность теплопередачи 40 м^2 на 1 м^3 объема рабочей поверхности). Конструкция пластинчатых теплообменников позволяет легко изменять площадь поверхности теплообмена за счет установки различного количества пластин и тем самым изменять и производительность аппарата. Благодаря турбулентному движению теплообмениваемой жидкостей коэффициент теплопередачи у пластинчатых теплообменников значительно выше, чем у теплообменников типа кожухотрубных.



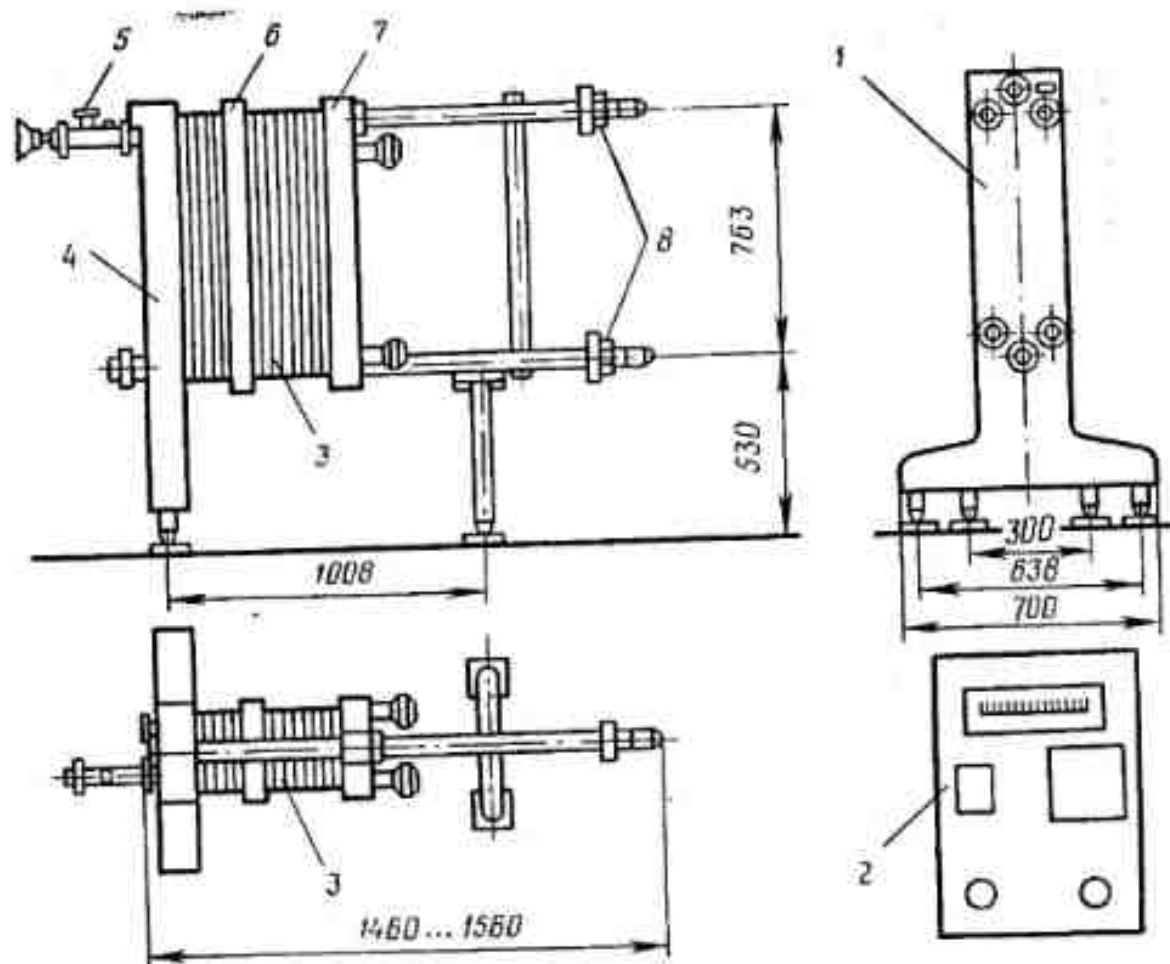


Рис. 5.16. Автоматизированная пластинчатая теплообменная установка типа АОЗ-У6

«труба в трубе», змеевиковых и др. При засорении теплообменников белковыми и другими веществами их конструкция предусматривает быструю разборку и сборку, а также тщательную очистку поверхностей пластин.

Основным недостатком теплообменников является наличие резиновых прокладок, которые быстро изнашиваются и дают течи.

Для нормальной работы теплообменника в заданном технологическом режиме необходимо рассчитать общую площадь поверхности теплопередачи, число каналов в одном пакете, число пластин в каждом пакете и число пакетов в аппарате, общее число пластин в теплообменнике и основные его размеры.

Задаваясь объемными расходами V ($\text{м}^3/\text{с}$) и скоростями движения v ($\text{м}/\text{с}$) рабочих сред, рассчитывают площадь поперечного сечения пакета $f_{\text{пак}}$ (м^2):

$$f_{\text{пак}} = V/v.$$

Зная поперечное межпластинное сечение одного канала f_1 (м^2), определяют число параллельных каналов:

$$m = f_{\text{пак}}/f_1.$$

Величину m округляют до целого числа.

Количество пластин в пакете n рассчитывают по формуле

$$n = 2m.$$

В крайних пакетах число пластин на одну больше.

Площадь поверхности теплопередачи одного пакета (м^2)

$$F_n = f_n n,$$

где f_n — площадь поверхности теплопередачи одной пластины, м^2 .

При найденной из теплового расчета общей площади поверхности теплообмена аппарата определяют число пакетов z в теплообменнике:

$$z = F/F_n.$$

Число z округляют до целого z' и пересчитывают величину площади поверхности теплопередачи аппарата:

$$F' = [z'] F_n,$$

после чего рассчитывают общее число пластин $n_{\text{об}}$ в теплообменнике (секции):

$$n_{\text{об}} = (F' + 2f_n)/f_n.$$

Для определения диаметра патрубка d_n (м) вычисляют объемный расход жидкости V ($\text{м}^3/\text{с}$):

$$V = G/\rho_{\text{ж}} = \pi d_n^2 v/4.$$

Преобразуя эту формулу, рассчитывают диаметр патрубка d_n (м):

$$d_n = 1,13 \sqrt{G/(\rho_{\text{ж}} v)}.$$

Для расчета пластинчатого теплообменника можно принимать скорости жидкостей $v_{\text{ж}} = 0,5 \div 1,5 \text{ м}/\text{с}$, для пара $v_{\text{п}} = 20 \div 40$ и газов $v_{\text{г}} = 5 \div 15 \text{ м}/\text{с}$.

5.4.5. Спиральные теплообменные аппараты

В спиральных теплообменниках (рис. 5.17) поверхность теплообмена образована спиральными каналами I и II высотой 8—12 мм, помещенными между металлическими листами 1 и 2 толщиной

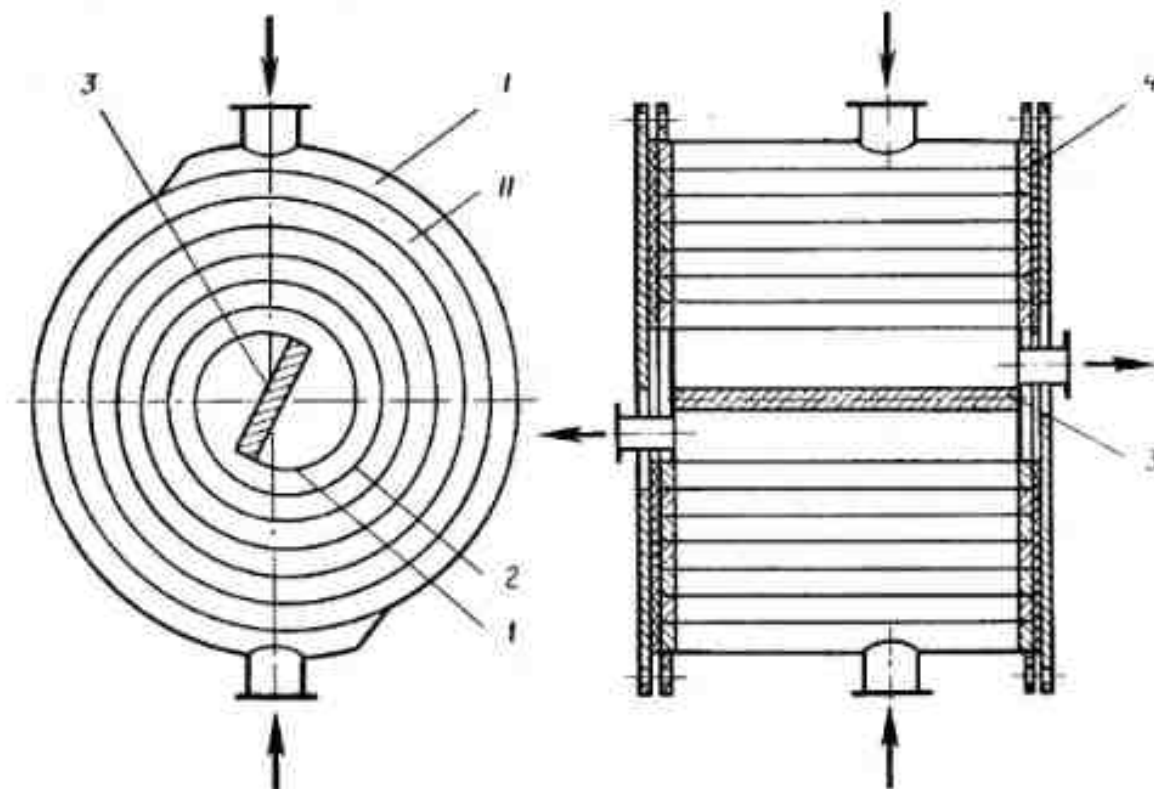


Рис. 5.17. Спиральный теплообменник

1—4 мм, согнутыми в спирали. С торцов каналы закрыты плоскими крышками 4 с уплотнительными прокладками, а внутри имеется перегородка 3. На рис. 5.17 показан горизонтальный спиральный теплообменник, используемый для теплообмена между двумя жидкостями. Каждый канал с торцевых и боковых поверхностей имеет штуцера для подвода и отвода теплообмениваемой жидкости.

Для теплообмена между конденсирующимся паром и жидкостью изготавливают вертикальные спиральные теплообменники, которые используются в качестве конденсаторов и паровых подогревателей для жидкостей.

Спиральные теплообменники изготавливаются различных размеров и имеют поверхность теплообмена от 10 до 100 м², они могут работать при давлении до 1 МПа и температуре от — 20 до + 200 °С. Коэффициент теплопередачи этих теплообменников сравнительно высок [800—1000 Вт/(м²·К)]. Спиральные теплообменники отличаются компактностью, малой металлоемкостью, возможностью достижения высоких скоростей, движения жидкости. Кроме того, гидравлическое сопротивление спиральных теплообменников ниже, чем у кожухотрубных многоходовых теплообменников при одинаковых скоростях движения. Однако спиральные теплообменники сложны в изготовлении (необходимо намоточное устройство) и ремонте.

5.4.6. Тепловой и гидравлический расчеты теплообменных аппаратов

Тепловой расчет. Тепловой расчет сводится к определению площади поверхности теплопередачи теплообменника F (м²), которую находят из основного уравнения теплопередачи:

$$F = Q / (K \Delta t_{\text{ср}}),$$

где Q — тепловая нагрузка теплообменника, Вт; K — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); $\Delta t_{\text{ср}}$ — средняя разность температур теплоносителей, К. Тепловую нагрузку без учета выделения теплоты или поглощения ее в процессах, протекающих в теплоносителях, и без потерь в окружающую среду, можно выразить уравнением теплового баланса

$$Q = Q_1 = Q_2,$$

где Q_1 — количество теплоты, переданной горячим теплоносителем, Вт; Q_2 — количество теплоты, приобретенное холодным теплоносителем, Вт. Уравнение теплового баланса можно выразить через расход горячего теплоносителя G_1 (кг/с), его начальную $t_{1\text{н}}$ и конечную $t_{1\text{к}}$ энthalпии (Дж/кг) и расход холодного теплоносителя G_2 с энthalпиями $t_{2\text{н}}$ и $t_{2\text{к}}$:

$$Q = G_1 (i_{1\text{н}} - i_{1\text{к}}) = G_2 (i_{2\text{к}} - i_{2\text{н}}).$$

Если процесс теплообмена в теплоносителях протекает без изменения агрегатного состояния, то

$$Q = G_1 c_1 (t_{1\text{н}} - t_{1\text{к}}) = G_2 c_2 (t_{2\text{к}} - t_{2\text{н}}),$$

где $t_{1\text{н}}$, $t_{1\text{к}}$, и $t_{2\text{н}}$, $t_{2\text{к}}$ — соответственно начальные и конечные температуры теплоносителей, К; c_1 и c_2 — средние удельные теплоемкости горячего и холодного теплоносителей, Дж/(кг·К).

Если в качестве горячего теплоносителя используется насыщенный водяной пар, то его расход [кг/с]

$$D = k G_{\text{ср}} (t_{2\text{к}} - t_{2\text{н}}) / (i_{2\text{н}} - i_{1\text{к}}),$$

где k — коэффициент тепловых потерь ($k = 1,02 - 1,05$); $i_{2\text{н}}$ — энthalпия греющего пара, Дж/кг (определяется по таблицам свойств водяного пара); $i_{1\text{к}}$ — энthalпия конденсата, Дж/кг.

$$i_{1\text{к}} = c_{\text{к}} t_{1\text{к}},$$

где $c_{\text{к}}$ — удельная теплоемкость конденсата, Дж/(кг·К); $t_{1\text{к}}$ — средняя температура конденсата, К.

Коэффициент теплопередачи для плоской стенки K [Вт/(м²·К)] определяется:

для приближенного расчета

$$K = \frac{\varphi}{1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2};$$

для точного расчета

$$K = \frac{1}{1/\alpha_1 + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + 1/\alpha_2},$$

где φ — коэффициент использования поверхности теплообмена (при слабом загрязнении поверхности $\varphi = 0,7 - 0,8$, при сильном $\varphi = 0,4 - 0,6$); α_1 и α_2 — коэффициенты теплоотдачи для горячего и холодного теплоносителя, Вт/(м²·К); δ и δ_1 — толщины стенки и слоя осадка, м; λ и λ_1 — коэффициенты теплопроводности материала стенки и слоя осадка, Вт/(м·К).

Второе уравнение можно с достаточной точностью использовать для расчета коэффициента теплопередачи K через цилиндрическую стенку, если $d_{\text{в}} = 0,5 d_{\text{н}}$.

где $d_{\text{в}}$ и $d_{\text{н}}$ — диаметры внутренних и наружных, м.

Площадь поверхности теплообмена в этом случае определяют по среднему диаметру $d_{\text{ср}} = 0,5 (d_{\text{в}} + d_{\text{н}})$.

Коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 рассчитывают в основном по числу Нуссельта:

$$\alpha = Nu \lambda / l,$$

где λ — коэффициент теплопроводности того теплоносителя, для которого определяют коэффициент теплоотдачи α , Вт/(м·К) (определяют из таблиц либо находят экспериментально); l — определяющий геометрический размер, м. Для плоского потока жидкостей между пластинами l можно вычислить, как эквивалентный диаметр канала:

$$l = 4F/\Pi = 4bh/2b = 2h,$$

где F — площадь поперечного сечения потока, м²; Π — смоченный периметр, м; b и h — ширина и глубина потока (расстояние между пластинами), м.

Критерий Нуссельта Nu рассчитывают по критериальным уравнениям типа

$$Nu = A Re^m Pr^n (Pr_{\text{ж}}/Pr_{\text{ст}})^s,$$

где A , m , n , s принимают в зависимости от конкретных условий теплообмена и постоянны для каждого типа теплообменников.

Критерий Рейнольдса

$$Re = vl/\nu,$$

где v — скорость движения теплоносителя, м/с; l — определяющий размер, м; ν — коэффициент кинематической вязкости, м²/с.

Критерий Прандтля

$$Pr = \nu/a = c\mu/\lambda,$$

где a — коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; μ — коэффициент динамической вязкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Отношение $Pr_{ж}/Pr_{ст}$ учитывает направление потока и влияние температурного напора. В приближенных расчетах величину этого отношения можно принимать: при нагревании жидкости — 1,05, при охлаждении — 0,95.

В теплообменниках при вынужденной конвекции и значительном турбулентном движении в трубах или каналах ($Re > 10\,000$) (кожухотрубные, пластинчатые, спиральные теплообменники) сравнительно точный результат дает следующее уравнение:

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43} (Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25}.$$

При $0,6 < Pr < 100$ это уравнение несколько упрощается:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}.$$

Для многих практических расчетов поверхности теплопередачи коэффициенты теплопередачи можно принимать: для секции водяного охлаждения $K = 1160 \div 2090 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; рассольного охлаждения $K = 930 \div 1740$, регенерационной $K = 1160 \div 1740$, пастеризационной $K = 1630 \div 2330 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Средняя разность температур $\Delta t_{ср}$ (К) при прямотоке или противотоке и при постоянной температуре одного из теплоносителей определяют как среднелогарифмическую разность:

$$\Delta t_{ср} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2,3 \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}},$$

где Δt_6 и Δt_m — разность температур между горячим и холодным теплоносителями на концах теплообменника, К.

Если $\Delta t_6/\Delta t_m < 2$, то с малой погрешностью среднелогарифмическую разность можно заменить среднелогарифмической:

$$\Delta t_{ср} = (\Delta t_6 + \Delta t_m)/2.$$

В теплообменниках с перекрестным или смешанным потоком теплоносителей среднелогарифмическую разность температур определяют для противотока по формуле

$$\Delta t_{ср} = e \Delta t_{ср. прот.}$$

где e — поправочный коэффициент.

Гидравлический расчет. Этот расчет производится для определения сопротивления, создаваемого в теплообменнике, и мощности, необходимой для перемещения в нем теплоносителей.

Гидравлическое сопротивление теплообменника Δp (Па) складывается из потери напора на сопротивление трения $\Delta p_{тр}$ и потери напора $\Delta p_{м.с}$ на преодоление местных сопротивлений:

$$\Delta p = \Delta p_{тр} + \Delta p_{м.с}.$$

В кожухотрубных и других трубчатых теплообменниках гидравлическое сопротивление, связанное с преодолением трения, можно рассчитать по формуле Дарси

$$\Delta p_{тр} = \lambda l \rho v^2 / 2d,$$

где λ — коэффициент гидравлического сопротивления; l — длина прямого участка трубы, м; ρ — плотность теплоносителя, $\text{кг}/\text{м}^3$; v — скорость движения

теплоносителя, $\text{м}/\text{с}$; d — внутренний диаметр трубы или эквивалентный диаметр $d_{э}$ межтрубного пространства, м.

$$d_{э} = 4F/\Pi,$$

где F — площадь поперечного канала, м^2 ; Π — смоченный периметр (периметр каналов), м.

Коэффициент сопротивления λ можно рассчитать для ламинарного потока жидкости ($Re < 2320$) по формуле $\lambda = 64/Re$, а для турбулентного потока ($Re < 10^5$) $\lambda = 0,316/\sqrt[4]{Re}$.

При производственных условиях эксплуатации технических труб принимают $\lambda = 0,02 \div 0,04$.

Потери напора на преодоление местных сопротивлений можно определить по формуле

$$\Delta p_{м.с} = \rho v^2 \Sigma \epsilon / 2,$$

где $\Sigma \epsilon$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений (в приближенных расчетах можно принимать равной 1,5).

Коэффициенты местных сопротивлений приведены ниже.

Входная и выходная камеры (удар и поворот)	1,5
Поворот на 180° между ходами и секциями	2,5
То же, через колено	2,0
Вход в трубы или выход из них	1,0
Вход в межтрубное пространство под углом 90° к рабочему потоку	1,5
Выход из межтрубного пространства под углом 90°	1,0
Поворот на 90° в межтрубном пространстве	1,0
Поворот в U-образных трубах	0,5
Поворот на 180° через перегородку	1,5
В межтрубном пространстве	1,5
Поперечное течение в межтрубном пространстве	$3m/Re^{0,25}$
(m — число труб в ряду)	
Круглые змеевики (n — число витков)	$0,5n$

В каналах одной секции пластинчатого теплообменника с пластинами, имеющими горизонтальные рифлы треугольной формы, при $100 < Re < 3 \cdot 10^4$ коэффициент местных сопротивлений можно подсчитать по формуле $\epsilon = 11,2 Re^{-0,25}$.

Тогда гидравлическое сопротивление (Па)

$$\Delta p_{м.с} = i \epsilon \rho v^2 / 2,$$

где i — число пакетов в секции.

$$i = n/(2m)$$

где n — число рабочих пластин в секции; m — число каналов в пакете.

Мощность (кВт), необходимая для преодоления сопротивлений в теплообменниках при перемещении теплоносителей,

$$N = V \Delta p / (1000 \eta_n),$$

где V — объемный расход жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$; Δp — гидравлическое сопротивление в теплообменнике, Па; η_n — КПД насоса ($\eta_n = 0,4 \div 0,75$).

5.5. ГИДРОЛИЗАПАРАТЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

При производстве кормовых дрожжей для проведения процесса кислотного гидролиза растительного и сельскохозяйственного сырья до моносахаридов используются гидролизаторы. Гидро-

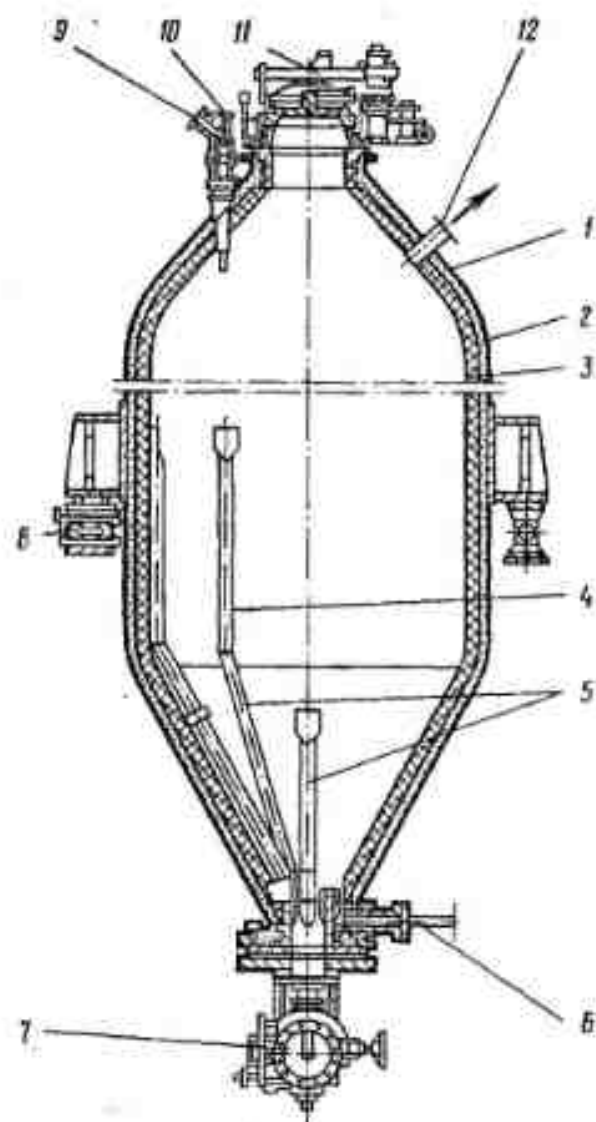


Рис. 5.18. Гидролизатор периодического действия

лизаторы периодического действия (рис. 5.18) представляют собой цилиндрические стальные емкости объемом от 18 до 80 м³ с коническими верхней и нижней частями. Для предотвращения коррозии внутренняя поверхность корпуса 1 покрывается слоем бетона 2 толщиной до 100 мм и дополнительно футеруется термостойкими плитами 3. Внутри аппарата на разных высотах расположены фильтрующие трубы 4 и 5, обеспечивающие оптимальные технологические условия для кислотного гидролиза. В нижней части аппарата расположены штуцер 6, предназначенный для отбора гидролизата и подачи пара, а также запорный клапан 7 для быстрого открытия и закрытия.

Аппарат расположен на двух опорных лапах, одна из

которых опирается на весомер 8 с датчиком, а другая — на шарнирные опоры.

Древесина, опилки, щепа, хлопковая шелуха, лузга или другие источники углеводов с помощью транспортера загружают в аппарат через верхнюю крышку горловины 11. Одновременно в аппарат подают воду через штуцер 9 и кислоту через штуцер 10. После загрузки сырья и компонентов верхняя крышка закрывается и через нижний штуцер внутрь аппарата подается острый пар. При достижении избыточного давления 0,5 МПа производится кратковременная сдвигка газов, выделившихся из пор сырья, через штуцер 12. Затем в аппарат подают кислоту и через штуцер 6 производится отбор гидролизата, содержащего растворенные углеводы.

По окончании процесса гидролиза подачу кислоты прекращают, остаток гидролизата вытесняется водой, а твердый остаток древесины — лигнин — под давлением 0,7 МПа через нижний клапан 7 выгружают из аппарата в циклон. Гидролизат содержит смесь моносахаридов, декстринов и продукты глубокого распада сахаров.

Использование гидролизаторов периодического действия с внутренней футеровкой не является перспективным, так как за

счет футеровки рабочий объем аппарата снижается на 30 %, а периодичность процессов приводит к низкой удельной производительности. Применение титанового покрытия аппаратов, хотя и повышает коэффициент использования объема аппарата, однако является неэффективным ввиду его недостаточной стойкости к разбавленной серной кислоте. Более перспективным техническим решением является применение гидролизаторов непрерывного действия и замена кислотного гидролиза ферментативным.

При применении ферментативного гидролиза отпадает необходимость изготовления футерованного оборудования. При этом фермент практически не расходуется, так как является в основном катализатором процесса. Использование метода ультрафильтрации для отделения ферментного раствора от гидролизата намного повышает эффективность многократного применения фермента. Однако промышленные гидролизаторы этого типа для непрерывных процессов кислотного и ферментативного гидролиза пока недостаточно надежно разработаны и не находят широкого применения.

Глава 7. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ, ОТЖИМА, ФИЛЬТРОВАНИЯ И ФЛОТАЦИИ

7.1. ЭКСТРАКТОРЫ

Экстрагированием называется процесс извлечения из вещества сложного состава одного или нескольких компонентов с помощью растворителя. В микробиологической промышленности экстрагирование применяется для извлечения ферментов из культур грибов, выращенных поверхностным способом, моносахаридов из твердой фазы после гидролиза полисахаридов, микробного жира из биомассы дрожжей и т. д. При экстрагировании происходит полное или частичное разделение веществ, обладающих различной растворимостью в том или ином растворе. Вследствие диффузии при соприкосновении с обрабатываемой смесью растворитель как фаза с более низкой концентрацией насыщается тем компонентом, который в нем растворим.

Процесс экстрагирования происходит в соответствии с законом Фика, по которому количество проэкстрагированных, продиффундировавших через слой вещества G (кг) пропорционально площади поверхности этого слоя F (м^2), коэффициенту диффузии $K_{\text{диф}}$ ($\text{м}^2/\text{с}$), изменению концентрации по толщине слоя $\Delta c_{\text{сл}}$ ($\text{кг}/\text{м}^3$), времени t (с) и обратно пропорционально толщине слоя δ (м):

$$G = K_{\text{диф}} F \Delta c_{\text{сл}} t / \delta.$$

При расчетах процесса экстрагирования $K_{\text{диф}}$ для ферментов принимают равным $1,8 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{с}$, удельную поверхность вещества, участвующего в процессе диффузии, — $7 \text{ см}^2/\text{см}^3$.

Для экстрагирования биологически активных веществ применяют экстракторы периодического и непрерывного действия. Экстракторы и диффузионные установки периодического действия недостаточно эффективны и поэтому применяются только в малотоннажном производстве. К экстракторам непрерывного действия относятся диффузоры и диффузионные батареи, колонные экстракторы вертикального и горизонтального типа, а также экстракторы роторного типа.

7.1.1. Диффузионные батареи

Диффузионные батареи применяются для извлечения ферментов из культур грибов. Диффузионная батарея (рис. 7.1) состоит из 8—10 диффузоров, смонтированных на общей площадке. Все диффузоры батареи унифицированы и имеют форму вертикального цилиндра с откидной герметически закрывающейся крышкой и коническим днищем.

В нижней конусной части диффузора имеются штуцера для подачи воды на диффузию, подачи пара для стерилизации аппарата,

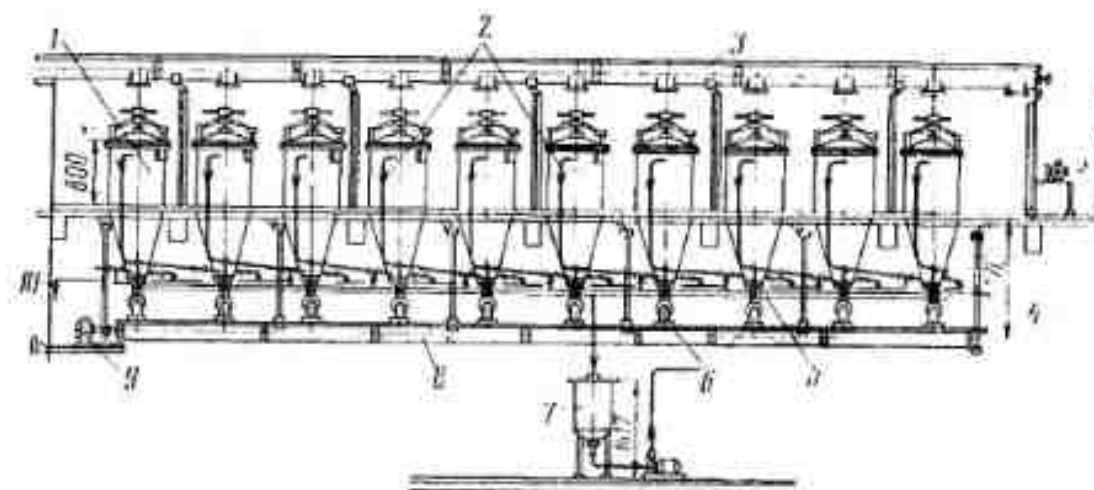


Рис. 7.1. Диффузионная батарея:

1 — диффузоры; 2 — перегородки диффузионной вытяжки из диффузора; 3 — штек для подачи культуры гриба; 4 — трубопровод для подачи воды на диффузию; 5 — трубопровод для приема диффузионной вытяжки; 6 — спусковой штуцер; 7 — сборник вытяжки; 8 — штек; 9 — привод штека; 10 — канализационный сток

спуска промывных вод и выгрузки биомассы. В верхней боковой цилиндрической части диффузоров расположены штуцера для выхода диффузионной вытяжки. Нижние штуцера снабжены трехходовыми кранами, что позволяет направлять вытяжку в следующий диффузор либо в отводную трубу для спуска. Вентили и краны расположены таким образом, что любой диффузор можно отключить от батареи, не нарушая ее работы.

Воздушник на крышке служит пробоборником при передаче вытяжки из диффузора в диффузор. В верхней части диффузора на расстоянии 150—200 мм от переливного штуцера расположена двойная сетка с ребрами жесткости; нижняя имеет ячейки от 10 до 15 мм, верхняя — 0,25—0,5 мм. После загрузки культуры в диффузор сетки устанавливают по периметру цилиндрической части аппарата плотно «под замок».

Диффузоры соединяются последовательно, и экстрагирующая жидкость из верхней части предыдущего диффузора подается в нижнюю часть следующего. Из головного диффузора, загруженного свежей культурой, отбирается готовая вытяжка, после чего на выгрузку ставится последний диффузор, на который подавалась свежая вода температурой 20—22 °С. Одновременно ток воды переключается на следующий диффузор, а головным становится диффузор, загруженный свежей культурой.

Продолжительность процесса в каждом диффузоре составляет 30—45 мин, общая продолжительность процесса 4—6 ч.

Движущей силой диффузионного процесса является градиент концентрации вещества в растворителе, поэтому для интенсификации процесса следует поддерживать максимальную разность концентраций. Это обеспечивается путем увеличения относительного объема растворителя, организацией процесса по принципу противотока, турбулизацией потока и соответствующим увеличением массообмена.

Для получения концентрированных экстрактов необходимо применять способ последовательного выщелачивания, который сводится к тому, что при установившемся цикле работы первая концентрированная порция экстракта направляется на промывку свежей порции культуры, а частично выщелоченная культура обрабатывается порциями экстракта убывающей концентрации и затем уже чистой водой.

В процессе экстрагирования продукт набухает, увеличиваются его масса и занимаемый объем, за счет чего происходит частичный отжим продукта, заключенного между сетками.

Для преодоления возникающих в диффузионной батарее сопротивлений воду следует подавать под давлением 0,2—0,3 МПа.

Продолжительность процесса экстрагирования ферментов в 8-корпусной батарее составляет 4 ч. Объем экстракта составляет 3—4 объема от объема загруженной культуры с содержанием сухих веществ 6—10 %. В 10-корпусной батарее 8 аппаратов находятся в работе, один — на загрузке и один — на выгрузке.

Основным преимуществом данного способа экстрагирования является возможность получения прозрачных водных вытяжек с концентрацией ферментов, почти не отличающихся от их концентрации в исходной культуре, так как многократное экстрагирование приводит к полному извлечению растворимых веществ.

Недостатком процесса является переход в вытяжку не только ферментов, но и других растворимых веществ, главным образом сахаров, солей, аминокислот и других неактивных примесей.

7.1.2. Диффузионная установка непрерывного действия конструкции ВНИЭКИпродмаша

Установка (рис. 7.2) состоит из приемного бункера 1, прикрепленного к раме; турникетного дозатора 2, соединенного гибким рукавом с бункером; диффузора колонного типа 3 с приводом; бака для подогрева воды 10, поступающей на диффузию; устройства для дозирования формалина 14; бака постоянного напора; сборников для отстаивания вытяжки 6; насосов 5, 8, 11, 12; шнек-пресса для отжима бишопрота 16; щита централизованного управления установкой и станции управления.

Диффузор представляет собой систему стальных вертикально расположенных прямоугольных емкостей, последовательно соединенных переходными трубами. На нем закреплены прямоугольные рамки размером 250 × 350 мм с сетками из капроновых нитей толщиной 10 мм. Скорость перемещения транспортирующего устройства регулируется от 1,8 до 3,0 мм/с. Втулочно-роликовые цепи приводятся в движение от электродвигателя мощностью 1,0 кВт через цепной вариатор и редуктор. Под действием виброимпульсов от электромагнитного вибратора измельченная культура из бункера равномерно поступает через дозатор в первую колонку и последовательно заполняет все пространство между двумя смежными ситами. При загрузке в первую колонку грибную культуру зама-

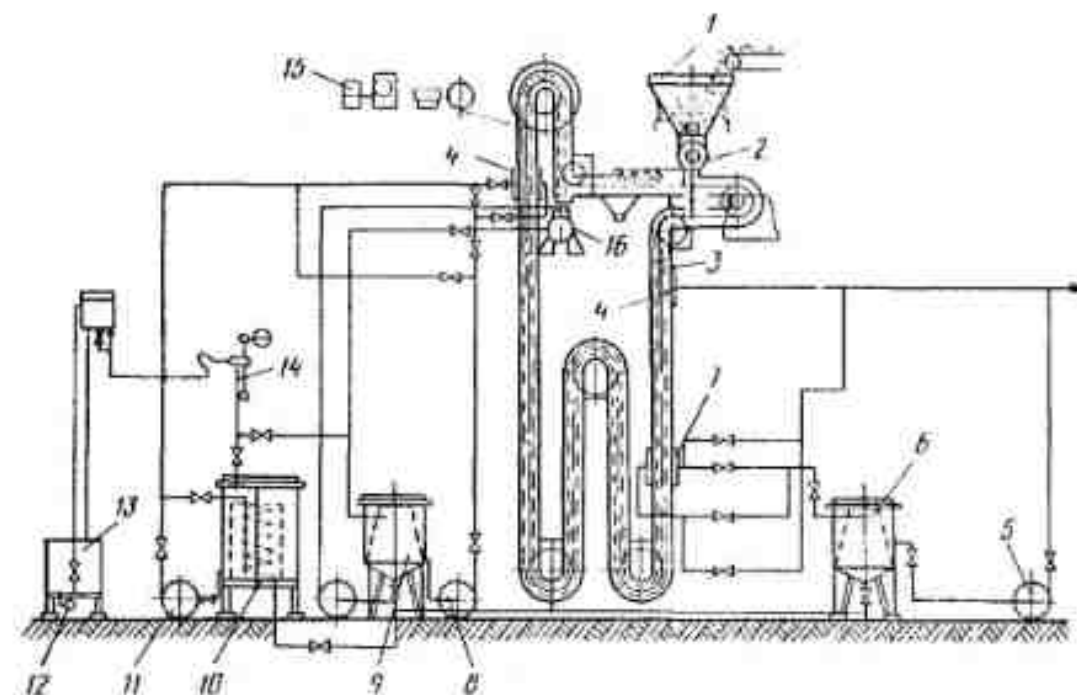


Рис. 7.2. Диффузионная установка А1-АДФ

1 — бункер для приема культуры гриба; 2 — дозатор; 3 — диффузионный аппарат; 4 — сито; 5 — насос для подачи диффузионной вытяжки на осаждение и смачивание культуры; 6 — отстойник для диффузионной вытяжки; 7 — фильтр; 8 — насос для подачи жомпрессовой воды на диффузию; 9 — отстойник жомпрессовой воды; 10 — бак для нагрева воды; 11 — насос для подачи воды на диффузию; 12 — насос для раствора формалина; 13 — бак для раствора формалина; 14 — дозатор раствора формалина; 15 — привод диффузора; 16 — шнек-пресс

чивают ферментной вытяжкой, возвращаемой в диффузор. Нагретая до 25—27 °С вода нагнетается насосом через сито 4 в верхнюю часть последней колонны и, двигаясь навстречу грибной культуре, постепенно насыщается ферментами.

Культура гриба движется между рамками сит последовательно по всем колоннам, а водная вытяжка под действием статического напора, возникающего за счет разности высот ввода воды и выхода вытяжки из диффузора, проходит через сита. Ферментную вытяжку отбирают через 100 мин после начала загрузки аппарата. Вытяжка фильтруется через фильтр 7, установленный в нижней части первой колонны, и затем подается в отстойник. Часть очищенной вытяжки подается на следующие стадии производства, остальная возвращается через сито в верхнюю часть первой колонны для смачивания вновь поступившей культуры.

Регенерацию сит производят путем периодической промывки их на верхнем участке последней колонны. При выходе рамок с ситами из экстракционной жидкости вытяжка стекает с них и вновь возвращается в диффузор, а бишопрот, находящийся между рамками, выгружается и идет на пресс для отжима.

Техническая характеристика диффузионной установки

Производительность по культуре гриба, т/сут	3,5
Скорость движения цепи, мм/с	1,8—3,0

Число носителей
Шаг между носителями, мм
Габаритные размеры, мм
Масса, кг

93
304
9200×5000×6000
19 400

7.1.3. Шнековый вертикальный экстрактор непрерывного действия ЭТШВ-600

Для экстрагирования ферментов, аминокислот и других веществ из твердых материалов в условиях крупнотоннажного производства целесообразно применять экстракторы непрерывного действия. К ним относится шнековый вертикальный экстрактор ЭТШВ-600 производительностью по твердой фазе 330 кг/ч. Экстрактор (рис. 7.3) состоит из трех колонн — спускной (загрузочной), подъемно-разгрузочной и поперечно-горизонтальной. Внутри каждой колонны расположены перфорированные шнеки, снабженные индивидуальным приводом с плавной регулировкой частоты вращения в пределах от 0,25 до 2 мин⁻¹, что позволяет выбирать оптимальный режим экстракции.

Загрузочно-спускная и разгрузочно-подъемная колонны состоят из соединительных царг внутренним диаметром 600 мм. Длина экстракционной зоны колонны равна 10 000 мм при общей длине 12 000 мм.

Твердая фаза культуры гриба подается шнековым питателем в верхнюю часть загрузочно-спускной колонны, перемещается перфорированным шнеком вниз и через переходный горизонтальный

участок колонны поступает в подъемную колонну. Экстрагент подается через распределительное устройство в параллельную разгрузочно-подъемную колонну противоточно. Культура гриба из загрузочно-спускной колонны поступает через переходный горизонтальный участок колонны в подъемную колонну и после отжима выгружается. Вода поднимается в загрузочно-спускную колонну, непрерывно насыщаясь, и после прохождения через фильтр в верхней части подъемной колонны выводится. Коэффициент заполнения колонны твердой фазой с учетом набухания продукта равен 0,8. Продолжительность экстракции 40—60 мин при температуре чоды 25 °С.

Для вращения шнеков установлены регулируемые электроприводы ПМУ8-М2 мощностью 3,2 кВт, частотой вращения 1500—150 мин⁻¹. Передача вращения осуществляется через клиноременную передачу и редуктор.

Техническая характеристика шнекового экстрактора ЭТШВ-600

Производительность по твердой фазе, кг/ч	330
Производительность по экстрагенту, м ³ /ч	0,8
Соотношение экстрагента к твердой фазе в пересчете на абсолютно сухую массу	5 : 1
Рабочий объем экстрагента, м ³	3,4
Продолжительность экстракции, мин	от 40 до 60
Температура экстрагента, °С	25
Коэффициент извлечения, %	95
Установленная мощность приводов, кВт	9,66
Габаритные размеры, мм	3940×3055×12 020
Масса аппарата без продукта, кг	13 200

7.1.4. Расчет вертикального экстрактора шнекового типа

Вместимость экстрактора (м³)

$$V = \Pi \tau f_{\text{зап}} f_{\text{наб}} / \rho,$$

где Π — производительность установки, кг/ч; τ — продолжительность процесса, ч; $f_{\text{зап}}$ — коэффициент заполнения аппарата (обычно принимают равным 0,5); $f_{\text{наб}}$ — коэффициент набухания; ρ — плотность продукта, кг/м³.

Длина экстракционной зоны аппарата (м)

$$L = V/F,$$

где F — площадь поперечного сечения колонны экстрактора, м².

$$F = \pi (R^2 - r^2),$$

где R — радиус корпуса, м; r — радиус вала колонны, м.

Расчетная величина длины экстракционной зоны может быть увеличена в соответствии с конструктивными особенностями, после чего пересчитывают рабочую вместимость аппарата

$$V = L_1 F.$$

Производительность горизонтального транспортирующего шнека (м³/ч)

$$\Pi = 60 f_{\text{зап}} f_{\text{наб}} \pi r_1^2 h \omega,$$

где r_1 — радиус шнека, м; h — шаг шнека, м; ω — частота вращения, мин⁻¹; ρ — плотность экстрагируемого материала, кг/м³.

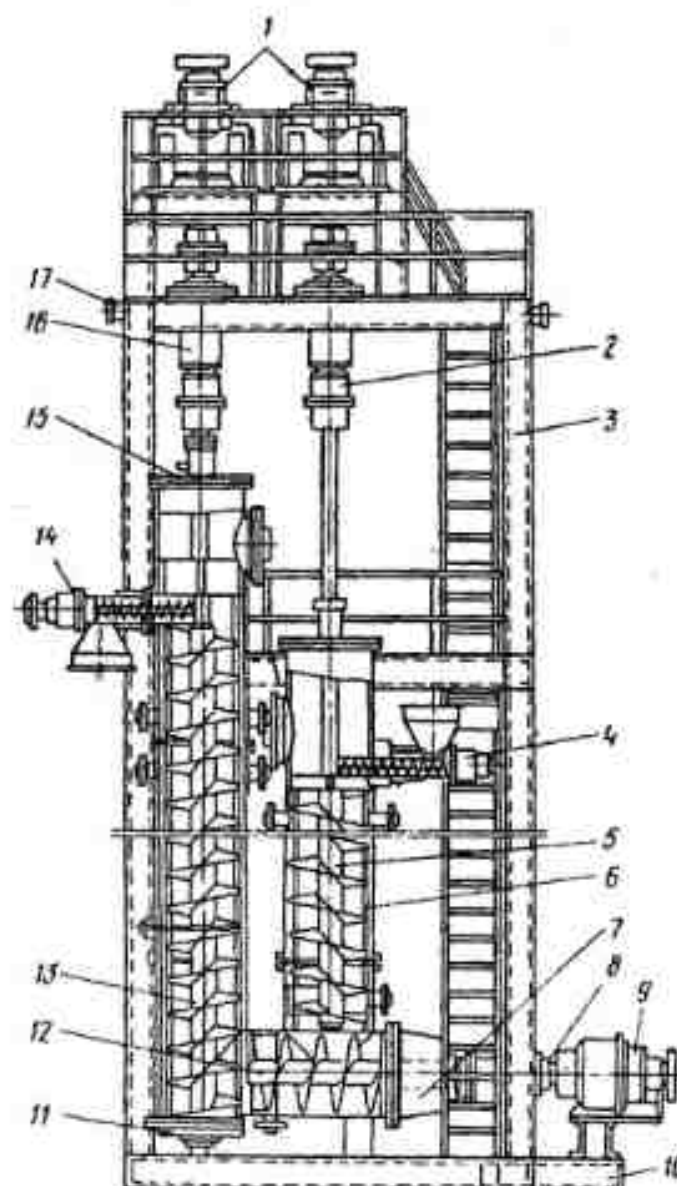


Рис. 7.3. Экстрактор шнековый непрерывного действия ЭТШВ-600:

1 — привод; 2 — муфта; 3 — металлоконструкция; 4 — загрузочное устройство; 5 — спускной шнек; 6 — корпус; 7 — опора подшипникового узла; 8 — муфта; 9 — привод шнека; 10 — рама; 11 — крышка; 12 — промежуточный шнек; 13 — подъемный шнек; 14 — разгрузочное устройство; 15 — крышка; 16 — опора вертикального шнека; 17 — цапфа

Шаг витка рассчитывают по формуле

$$h = 2D \operatorname{tg} \varphi,$$

где φ — угол естественного откоса экстрагируемого материала, град; D — внутренний диаметр экстрактора, м.

Поскольку при работе экстрактора может меняться коэффициент заполнения и происходит проскальзывание продукта, а также для возможности выбора оптимального технологического режима работы аппарата, на шнеках устанавливают привод с плавным регулированием частоты вращения и передаточного отношения. Вращение вертикальных шнеков также осуществляется от привода с частотой вращения, равной частоте вращения горизонтального шнека.

Мощность электропривода шнеков (кВт)

$$N_{\text{дв}} = (N_{\text{т}} + N_{\text{к}}) / \eta_{\text{общ}},$$

где $N_{\text{т}}$ — мощность, затрачиваемая на транспортировку продукта, кВт; $N_{\text{к}}$ — мощность, затрачиваемая на трение продукта о корпус, кВт; $\eta_{\text{общ}}$ — общий КПД передачи.

Мощность (кВт), затрачиваемая на транспортировку продукта вертикальным шнеком,

$$N_{\text{т}} = M_{\text{в.п}} / 974,$$

где $M_{\text{в.п}}$ — момент сопротивления вертикального шнека от трения продукта о шнек и подъема по виткам.

$$M_{\text{в.п}} = P_{\text{в.п}} r_{\text{ср}} \operatorname{tg} (\varphi + \beta),$$

где $P_{\text{в.п}}$ — осевая нагрузка на шнек, кг; $r_{\text{ср}}$ — средний радиус шнека, м; φ — угол наклона спирали шнека, град; β — угол трения, град.

Осевая нагрузка на шнек

$$P_{\text{в.п}} = \pi (R^2 - r^2) \rho_{\text{н}} H,$$

где $\rho_{\text{н}}$ — плотность продукта, насыщенного водой, кг/м³; H — высота загрузки шнека, м.

Мощность (кВт), затрачиваемая на трение продукта о стенки корпуса,

$$N_{\text{к}} = P f_{\text{тр}} R \operatorname{tg} \varphi \omega k_{\text{р}} / (102 \cdot 30),$$

где P — суммарная сила давления продукта на стенки корпуса, кг; $f_{\text{тр}}$ — коэффициент трения продукта (принимается равным 0,2); $k_{\text{р}}$ — коэффициент распора (принимается равным 0,5).

7.1.5. Экстракторы непрерывного действия ЭКТ-800 и ЭКТ-400

Для экстрагирования углеводов из солодовых ростков, а также активаторов пектина из высушенного мицелия гриба используются противоточные экстракторы колонного типа ЭКТ-800 и ЭКТ-400.

Большой объем рабочих зон и незначительные энергозатраты на осуществление процесса позволяют использовать эти аппараты для переработки сырья с низкими диффузионными свойствами и большой продолжительностью экстрагирования (до 0,5—1 ч).

Экстракторы состоят из контактной зоны, представляющей собой сборную вертикальную колонну, соединенную с верхней отстойной и нижней разгрузочной камерами. По всей высоте контактной зоны экстрактора расположены ребра, обеспечивающие образование зон торможения твердой фазы. Для интенсификации процесса

на валу на равном расстоянии одна от другой установлены лопастные мешалки.

Вал закреплен в верхней части аппарата и соединен с приводом взрывобезопасного мотор-редуктора. Для плавного регулирования частоты вращения используется тиристорный преобразователь.

Контактная зона экстрактора снабжена обогревающей рубашкой, обеспечивающей температуру экстрагирования 40—65 °С и более. Предварительно увлажненная твердая фаза подается шнековым питателем в верхнюю часть экстрактора. В процессе движения вниз по колонне она контактирует с противоточно движущимся растворителем, проходит последовательно многочисленные зоны перемешивания и торможения и из нижней разгрузочной камеры выводится двухшнековым транспортером. Растворитель в соотношении 9 : 1 подается в нижнюю разгрузочную камеру колонны.

Люк для разгрузки твердой фазы расположен выше уровня растворителя на 1500 мм, что позволяет уменьшить влажность выходящей твердой фазы. Питание аппарата и отвод из него экстракта происходят непрерывно при автоматическом контроле и регулировании параметров процесса.

7.1.6. Двухшнековый горизонтальный экстрактор непрерывного действия

Основным недостатком двухшнековых экстракторов является образование застойных зон и каналов с меньшим гидравлическим сопротивлением, вследствие чего происходит проскок растворителя. Для ликвидации застойных зон на валах шнеков устанавливают набор перфорированных эксцентриковых кулачков, смещенных один относительно другого на 10—20°. Действенным средством повышения эффективности горизонтальных экстракторов является также их разделение на секции, в результате чего режим противо-

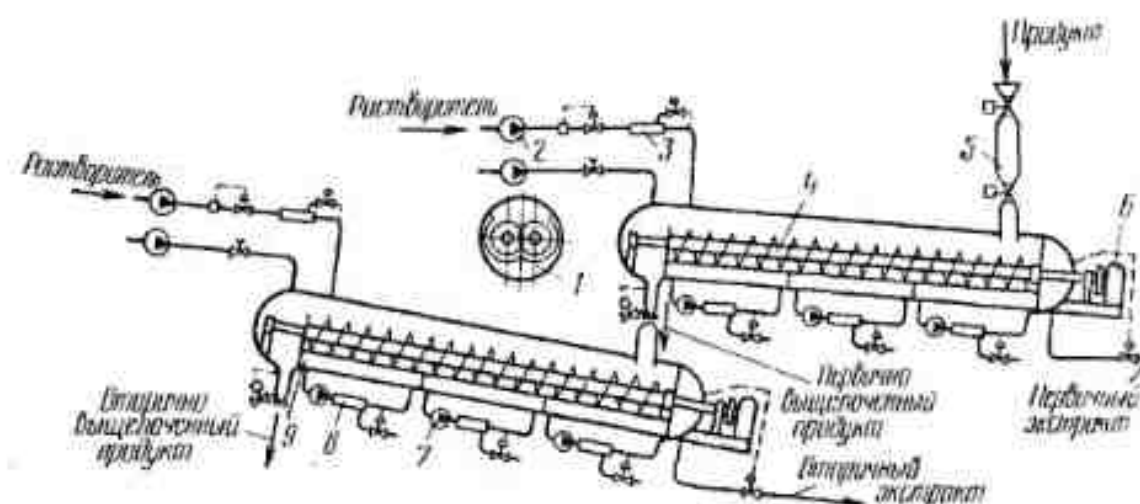


Рис. 7.4. Экстрактор непрерывного действия фирмы «Ниро Атомайзер»:
1 — наклонный желоб; 2 — насос-дозатор; 3 — теплообменник; 4 — шнек; 5 — дозатор;
6 — привод; 7 — насос; 8 — теплообменник; 9 — рубашка теплообменника

точного взаимодействия твердой и жидкой фаз интенсифицируется и повышается скорость массопередачи.

Фирма «Ниро Атомайзер» изготавливает экстракторы непрерывного действия, работающие при избыточном давлении. Экстрактор (рис. 7.4) представляет собой наклонный желоб, внутри которого расположены два шнека с теплообменными устройствами и системой насосов.

Над экстрактором установлен дозатор для подачи продукта в нижнюю часть желоба. С другого конца экстрактора дозирующим насосом через теплообменник в верхний конец желоба подают растворитель. Экстракт через самоочищающийся фильтр выгружается в нижнем конце желоба.

Процесс экстрагирования осуществляется двухступенчато и противоточно, такой способ контактирования твердой фазы с жидкой обеспечивает наиболее эффективную экстракцию. Продолжительность экстрагирования регулируется скоростью вращения шнеков.

7.1.7. Экстракторы роторного типа

Для непрерывного экстрагирования ферментов из культур грибов и бактерий широко применяются экстракторы роторного типа, производимые в Японии.

Эти экстракторы (рис. 7.5) изготавливаются из малоуглеродистой стали и представляют собой неподвижный герметичный корпус, внутри которого расположен ротор, разделенный на 16 и более секторов, вращающихся относительно вертикальной оси.

Каждый сектор имеет ситчатое днище глубиной 0,23—0,36 м, на которое через дозатор подается измельченная культура гриба. При медленном вращении ротора секторы последовательно проходят четыре участка. В первом происходит обработка культуры водой, после чего водная вытяжка с помощью вакуум-насоса отфильтровывается в приемник. Оттуда она насосом направляется во второй сектор, где осуществляется экстрагирование свежей культуры гриба, отфильтровывается во второй приемник. Эти операции повторяют-

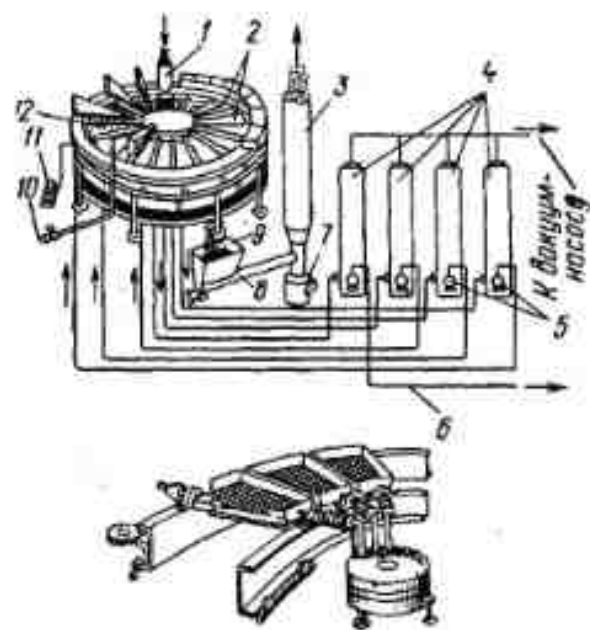


Рис. 7.5. Экстрактор непрерывного действия роторного типа:

1 — питатель; 2 — секторы; 3 — сушилка для биошрота; 4 — приемник; 5 — насос; 6 — трубопровод для концентрированной жидкости; 7 — штуцер для подачи теплоносителя; 8 — конвейер для подачи биошрота; 9 — приемный бункер; 10 — трубопровод для подачи воды на диффузию; 11 — вакуум-насос; 12 — форсунки

ся в третьем и четвертом секторах. Обогащенная ферментом вытяжка после экстракции (время экстракции составляет 30, 45, 60 и 90 мин) поступает на дальнейшую обработку, а биошрот на определенном участке движения ротора выгружается и поступает на сушку.

Таким образом, роторный экстрактор при непрерывной работе аппарата позволяет в каждом секторе производить четырехкратную последовательную обработку культуры водой и вытяжкой до полного извлечения фермента.

Привод ротора экстрактора осуществляется через редуктор, а также сменные шкивы, позволяющие изменять число оборотов ротора.

Техническая характеристика роторного экстрактора непрерывного действия

Производительность по экстракту, л/ч	250—1500
Число секторов в роторе	16—20
Глубина сектора, мм	230—360
Диаметр ротора, мм	6200—7570
Высота слоя культуры гриба, мм	До 300
Общая поверхность фильтрации, м ²	20

Для экстрагирования остатков парафинов нефти из выращенных на них дрожжевых культур используются экстракторы роторного

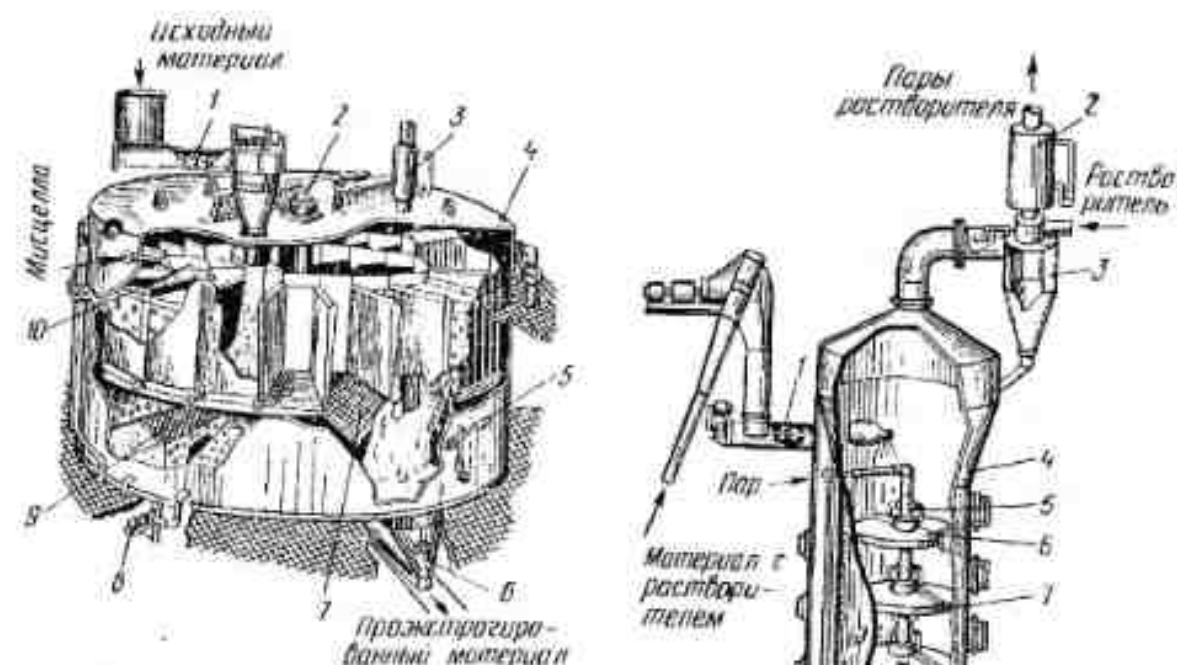


Рис. 7.6. Роторный экстрактор непрерывного действия фирмы «Роуздаунс»:

1 — загрузочный конвейер; 2 — вал ротора; 3 — вытяжное устройство; 4 — смотровое окно; 5 — механизм опускания откидного днища; 6 — конвейер выгрузки; 7 — откидное днище; 8 — насос; 9 — самоочищающееся сито; 10 — распределитель мицеллы

Рис. 7.7. Десольвататор фирмы «Роуздаунс»:

1 — конвейер загрузочный; 2 — вытяжное устройство; 3 — скруббер; 4 — корпус; 5 — вал; 6 — шестерня; 7 — тарелка; 8 — вытяжное устройство; 9 — привод

типа, изготавливаемые фирмой «Роуздаунс». Устройство аналогично предыдущему и представляет собой вращающийся ротор с ячейками и откидными перфорированными днищами (рис. 7.6). По конвейеру в ячейки подается твердая фаза (дрожжи), которая остается неподвижной, а на нее сверху подается экстрагент. Экстракт поступает в приемные емкости, для максимального насыщения экстракт непрерывно циркулирует через ячейки. Для более полного насыщения растворителя в ячейки со свежезагруженным материалом подается экстрагент с большим содержанием экстрагируемых веществ. После извлечения парафинов перед выгрузкой дрожжей в ячейки подается свежий растворитель. По окончании процесса днища ячеек откидывают и проэкстрагированный материал выгружается. Производительность установки по биомассе более 100 т/сут.

Для удаления растворителя из проэкстрагированного материала (дрожжей) экстракционная установка снабжена десольвататором — аппаратом, в котором при перемещении материала сверху вниз по тарелкам растворитель испаряется и выводится из аппарата (рис. 7.7). Частицы материала, увлекаемые паром, поступают в скруббер, где улавливаются при смешивании с диспергированным растворителем (см. рис. 7.7).

7.1.8. Стекатель непрерывного действия

Для отделения экстракта от проэкстрагированного жома, солодовых ростков или других продуктов, вся масса после экстракции подается в стекатель и далее в шнек-пресс или ленточный вакуум-фильтр.

Стекатель Т1-ВССШ-10 состоит из бункера, зернового цилиндра, привода, двух шнеков и гидроцилиндра.

Бункер представляет собой сварную емкость из нержавеющей стали с двойными стенками. Внутренние стенки выполнены из перфорированных листов. Посередине бункера на расстоянии 200 мм от верхней кромки расположена поперечная перфорированная перегородка высотой 500 мм. Боковые стенки бункера на высоте 600 мм от верхней кромки имеют сужения на 3°. В нижней части бункера имеется отверстие для отвода экстракта. Для очистки бункера снаружи и снизу имеются люки.

Зерновый цилиндр выполнен из нержавеющей стали и перфорирован. В верхней части цилиндра предусмотрены отверстия для стекания экстракта. Привод стекателя состоит из мотор-редуктора и зубчатой передачи, осуществляющей вращение шнеков в противоположные стороны. Направление винтовых линий шнеков левое для одного и правое для другого. Величина перекрытия шнеков равна 50 мм, угол наклона к горизонту 25°.

Суспензию свекловичного жома после экстракции с помощью насоса подают в бункер стекателя. Для поддержания определенного уровня суспензий установлены датчики уровня. Суспензия свекловичного жома в бункере стекателя самопрессуется, а экстракт свекловичного жома стекает в подбункерное пространство. Свекло-

вичный жом из бункера попадает в цилиндры и шнеками, вращающимися в разные стороны, перемещается с частичным ворошением в камеру прессования. Выходная часть цилиндра в начале работы стекателя закрыта плавающими конусами для создания пробки в камере прессования, которые соединены с гидроцилиндром. Отцеженный выщелоченный продукт передвигается шнеком по цилиндру, выходит из щели, образованной плавающим конусом, и поступает в шнек-пресс. Экстракт выводится из установки через специальные отверстия в верхней части цилиндра и нижней части бункера.

7.2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОТЖИМА

Для полного отделения экстракта от мезги применяют отжимные прессы. Эффективность процесса определяется полнотой отделения жидкой фазы, а также качеством экстракта (отсутствие твердых частиц). При отжиге свободная жидкость легко отделяется от сухого остатка. Полного отделения экстракта методом прессования получить невозможно. Всегда в остатке находится некоторое равновесное количество экстракта, которое при данных значениях давления и температуры не отделяется.

Прессы, применяемые для отжима, можно разделить на две группы: механические прессы периодического действия — с ручным, механизированным приводом и гидравлическим отжатием, гидравлические и пневматические; прессы непрерывного действия — шнековые, эксцентриковые, ленточные, центробежные и вальцовые. Недостатками прессов периодического действия являются их низкая производительность, большие размеры, поэтому они не нашли широкого применения в микробиологической промышленности.

Из отжимных прессов непрерывного действия наиболее совершенными и прогрессивными являются шнековые прессы, позволяющие механизировать и автоматизировать этот процесс. После предварительного отделения экстракта в стекателе мезга поступает в загрузочный бункер и затем шнеком подается в перфорированный цилиндр и в камеру отжима, после чего удаляется из прессы. Оптимальное значение диаметра отверстий перфорированного рабочего органа прессы равно 2 мм. При большем диаметре качество фильтрата ухудшается. Общая величина живого сечения отверстий дренирующей поверхности рабочего органа прессы равна 5—8 %. Давление прессования регулируется с помощью различных конструктивных устройств. Экстракт проходит через отверстие цилиндра и по выводным патрубкам направляется в приемник.

Рабочей частью прессы является прессующий корпус, внутри которого расположен шнек. Для того чтобы мезга перемещалась вдоль оси шнека, коэффициент трения вдоль оси шнека должен быть малым, а о стенки корпуса — большим, иначе мезга будет вращаться вместе со шнеком без осевого перемещения. Для увеличе-

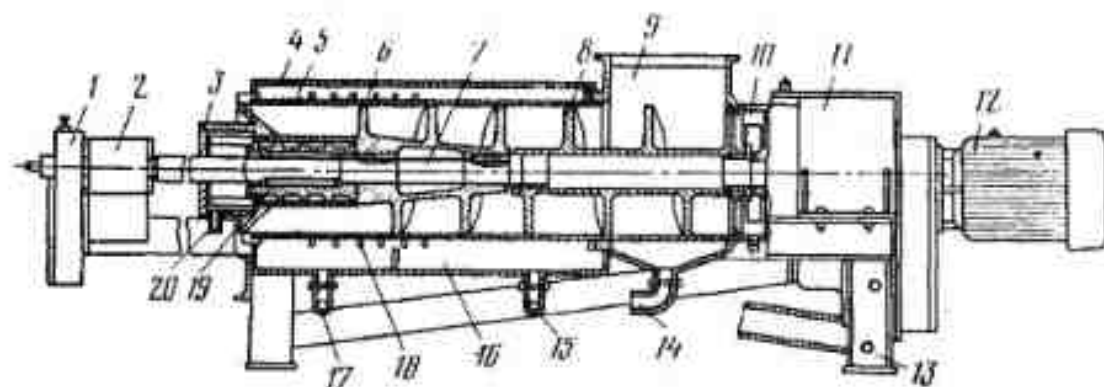


Рис. 7.8. Двухшнековый пресс Т1-ВПО-10:

1 — гидрорегулятор; 2 — кронштейн; 3 — регулировочный конус; 4 — капот; 5 — цилиндр; 6, 8 — шнеки; 7 — вал; 9 — бункер; 10 — корпус; 11 — редуктор; 12 — электродвигатель; 13 — рама; 14, 15, 17, 20 — патрубки; 16 — сборник; 18 — бандаж; 19 — барабан

ния коэффициента трения и увеличения производительности шнека внутренние стенки корпуса снабжают продольными пазами.

Двухшнековые прессы. При крупнотоннажном производстве ферментов для отжима свекловичной мезги, биошрота, солодовых ростков и др. применяются двухшнековые прессы. На рис. 7.8 показан двухшнековый пресс Т1-ВПО-10, в котором внутри перфорированного цилиндра в противоположных направлениях вращаются два шнека — транспортирующий, расположенный частично под бункером и в цилиндре, и прессующий. Прессующий шнек закреплен на валу, диаметр которого увеличивается по мере приближения к камере давления. На этом же валу расположен барабан, по которому перемещается регулировочный конус. Степень отжатия мезги зависит от величины кольцевого зазора между конусом и цилиндром. Осевые нагрузки воспринимаются кронштейном, к которому прикреплен гидрорегулятор. Мезга из бункера захватывается транспортирующим шнеком и подается на прессующий шнек, который продвигает ее в камеру давления, и далее отжатая мезга удаляется через зазор между конусом и цилиндром. Фильтрат через отверстия в щитках бункера, цилиндре и барабане выводится по патрубкам в приемник. По экспериментальным данным, влажность отжатой свекловичной мезги составляет 70—75 %.

Шнек-пресс конструкции ЛенНИИхиммаша марки МО-1С-320. ЛенНИИхиммашем разработан шнек-пресс, обеспечивающий отжим мезги от 85—90 % при температуре 58—60 °С до 60—65 % при температуре 65—70 °С. Отжимная установка состоит из разгрузочной воронки, фильтр-корпуса, шнек-вала и устройства для выгрузки.

Фильтр-корпус выполнен в виде разъемной футерованной стержнями фермы. Ферма собирается из стержней, набираемых в ферму из бугелей и штанг. Между стержнями на концах образуется семь зон с различными размерами щелей: для первых двух зон щель имеет размер 0,6 мм, для третьей и четвертой — 0,4 и для остальных — 0,2 мм.

Таблица 7.1. Техническая характеристика двухшнековых прессов

Показатели	ПНД-5А	ПНД-5	ШПНД-5	Т1-ВПО-10
Производительность, т/ч	5	5	5	10
Максимальное удельное давление на мезгу, МПа	0,14	0,14	0,14	0,14
Наружный диаметр шнеков, мм	420	420	420	520
Частота вращения шнеков, мин ⁻¹				
транспортирующего	5,0	4,7	5,0	3,5
прессующего	5,0	4,7	5,0	3,5
Шаг шнеков, мм				
транспортирующего	230	230	246	300
прессующего	185	185	205	250
Мощность привода, кВт	10	10	10	10
Габаритные размеры, мм	3000× ×1200× ×1580	4110× ×1445× ×1685	3600× ×810× ×1267	3935× ×840× ×1400
Масса, кг	2090	2000	2040	2700

Продолжение табл. 7.1

Показатели	Т1-ВПО-20	Т1-ВПО-30	Т1-ВПО-50
Производительность, т/ч	20	30	50
Максимальное удельное давление на мезгу, МПа	0,14	0,14	0,14
Наружный диаметр шнеков, мм	557	647	797
Частота вращения шнеков, мин ⁻¹			
транспортирующего	7,5	7,5	7,5
прессующего	3,5	3,5	3,5
Шаг шнеков, мм			
транспортирующего	330	380	470
прессующего	280	320	400
Мощность привода, кВт	13	17	22
Габаритные размеры, мм	4500×1005× ×1400	5100×1100× ×1450	5350×1481× ×2000
Масса, кг	4450	6500	8500

Шнек-вал состоит из шнековых втулок, расположенных на валу, между которыми имеются промежуточные кольца для прохода ножей фильтр-корпуса. Влажная масса поступает через загрузочную воронку в рабочую зону. Шнек-вал перемещает массу и прессует ее через разгрузочное отверстие под давлением до 1—5 МПа. Экстракт удаляется через долевые щели фильтр-корпуса, а отжатая масса влажностью 60—65 % при температуре 65—70 °С удаляется через загрузочное устройство.

Производительность машины по исходному продукту составляет 4000 кг/ч, диаметр шнека вала — 320 мм, мощность электродвигателя — 17 кВт.

7.3. ФИЛЬТРЫ

Аппараты, предназначенные для разделения неоднородных систем методом фильтрования через перегородку (ткань, металлическая сетка, картон, пористая керамика, зернистый слой песка, диатомит и др.), называют фильтрами.

По принципу действия фильтры разделяются на периодические и непрерывные. Фильтры можно классифицировать по давлению на гравитационные, работающие под давлением столба жидкости, вакуум-фильтры и фильтр-прессы.

К фильтрам периодического действия относятся фильтры, работающие под давлением столба жидкости, — гравитационные (с зернистым слоем, листовые, мешочные, фильтрационные чаны); фильтры, работающие под вакуумом (нутч-фильтры).

К фильтрам непрерывного действия относятся фильтры, работающие под вакуумом (барабанные, дисковые, ленточные), и фильтры, работающие под давлением (барабанные).

В микробиологических производствах фильтрование используется в процессах отделения биомассы от культуральной жидкости, для осветления растворов, содержащих биологически активные вещества, для стерилизующего фильтрования, для отделения осажденных из растворов биологически активных веществ и др. Все эти процессы можно разделить на три основных вида: разделение суспензий с целью отделения жидкой фазы от твердой (содержание последней в суспензии обычно составляет не менее 10 %); осветление с целью очистки жидкости от загрязняющих мелких частиц или улавливание целевой твердой фазы, содержание которой в растворе невелико; сгущение суспензии с целью повышения концентрации твердой фазы.

Принципиальная схема работы любого фильтра проста: суспензия подается на пористую перегородку, при этом жидкая фаза проходит через перегородку, а твердая фаза задерживается на перегородке в виде уплотненного слоя осадка.

7.3.1. Фильтры периодического действия

Друк-фильтры. Современные конструкции друк-фильтров с подъемной S-образной мешалкой применяются для фильтрования под давлением в производстве полупродуктов органического синтеза. Фильтр несложен по конструкции и представляет собой цилиндрический корпус со сферическим днищем, которое снабжено тепловой рубашкой и фильтрующей перегородкой. Днище крепится к корпусу откидными болтами. При сборке и разборке фильтра, а также при смене фильтровальной ткани днище перемещается вертикально с помощью гидравлического привода. Для перемешивания и гидравлической выгрузки осадка установлена S-образная мешалка распахивающего типа, которая с помощью гидравлического или механического привода может подниматься и опускаться. Мешалка имеет реверсивный привод. При вращении мешалки в

одну сторону происходит заглаживание трещин в осадке, в противоположную — взмучивание и перемещение осадка к штуцеру гидроразгрузки фильтра. При «сухом» удалении осадка его распахивают мешалкой и сгребают к люку для выгрузки.

Суспензия подается в фильтр через верхний штуцер корпуса, фильтрат удаляют через штуцер в днище, а осадок выводят через боковой штуцер или люк. Фильтрующим материалом в друк-фильтре может быть фильтровальная ткань или керамическая пористая плитка. В случае использования фильтровальной ткани ее крепят, либо зажимая между фланцами днища и корпуса, либо закрепляя по периметру ложного днища в паз с помощью шнура, либо просто закладывая в щель между ложным днищем и корпусом фильтра и закрепляя специальным клином. При использовании керамической плитки фильтр может не иметь опускающегося днища, так как фильтрующая перегородка заменяется очень редко. Однако в этом случае необходимо применять жидкость, растворяющую твердую базу, способную забивать поры плиток, или продувать плитки острым паром (если твердая фаза способна растворяться в горячей воде). Использование друк-фильтров в производстве органического синтеза обусловлено их полной герметизацией и возможностью проведения фильтрования и промывания осадка при определенной температуре процесса фильтрования.

Преимуществом друк-фильтров с мешалкой является возможность тщательной отмывки осадка как промывной жидкостью, так и путем перемешивания осадка с промывной жидкостью и возможностью дофильтровывания всей суспензии. К недостаткам этих фильтров можно отнести их небольшую производительность (поверхность фильтрования до 3 м²), неудобство закрепления фильтровальной ткани и невозможность полной регенерации ее фильтрующих свойств.

Камерный фильтр-пресс. Эти фильтр-прессы отличаются от рамных меньшим объемом камер для осадка и большим рабочим давлением, что позволяет фильтровать трудноразделимые суспензии.

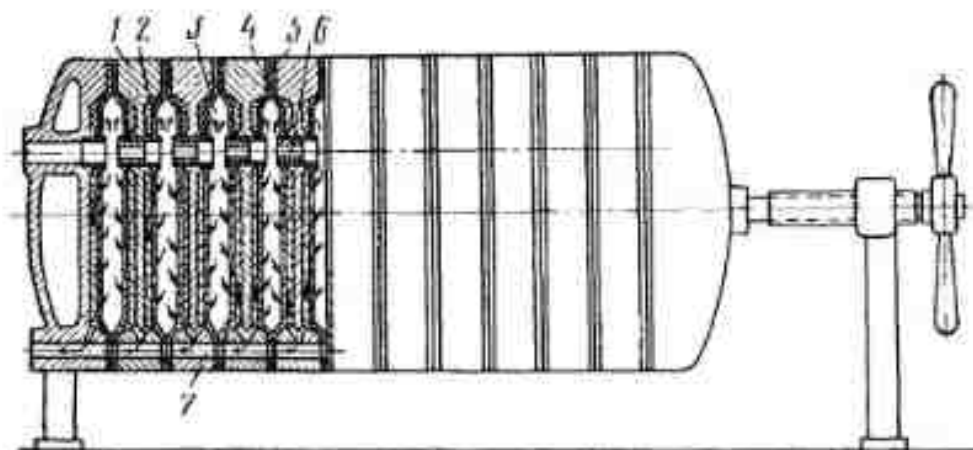


Рис. 7.9. Камерный фильтр-пресс:

1 — плита; 2 — рифленая поверхность плиты; 3 — камера; 4, 5 — слои фильтровальной ткани; 6 — канал для подачи суспензии; 7 — канал для удаления фильтрата

Камерный фильтр-пресс (рис. 7.9) состоит из плит с рифлеными поверхностями, образующих камеры. Между плитами прокладывают в два слоя фильтрующие перегородки, которые служат одновременно и уплотнителями при сжатии пластин. Суспензию подают по верхнему каналу одновременно во все камеры, а фильтрат, проходя также через все фильтровальные перегородки, движется вниз по желобам рифленой поверхности пластин и отводится по общему каналу, расположенному в нижней части. При необходимости осадок в камерах фильтр-пресса промывают и обезвоживают путем подачи соответственно промывной жидкости или сжатого воздуха по верхнему каналу и его отвода через нижний канал. Разгрузку осадка из камерного фильтр-пресса производят так же, как и из рамного. В некоторых конструкциях камерных фильтр-прессов вместо общего канала для отвода фильтрата и промывной жидкости в каждой плите предусмотрен отдельный канал с краном.

7.3.2. Фильтры непрерывного действия

Наиболее перспективными для микробиологических производств являются барабанные фильтр-прессы и в меньшей мере — ленточные фильтры.

Ленточные вакуум-фильтры. Основное отличие ленточного вакуум-фильтра непрерывного действия от других заключается в том, что он обладает активной горизонтальной фильтрующей поверхностью, на которой может образовываться осадок высотой до 120 мм. Тяжелые твердые частицы осадка при прохождении через фильтрующий слой располагаются ближе к фильтрующей ткани, а более легкие — вверху слоя и не закупоривают поры фильтрующей ткани. Установка ленточного вакуум-фильтра (рис. 7.10) состоит из горизонтального стола с приводными и натяжными барабанами с бесконечной рифленой резиноканевой лентой, привода вакуумных камер и устройства для промывания ленты, подсушки и съема осадка и приемного бункера для осадка.

Вакуумные камеры с передвижными разделяющими перегородками расположены по всей длине установки под фильтрующей лентой. Лента выполнена из тканевых прокладок с резиновыми прослойками, с обеих сторон обложена резиной. На ее поверхности имеются поперечные и продольные углубления. При перемещении ленты с натяжного барабана на горизонтальную плоскость стола отгибающиеся борта ленты по боковым направляющим стола поднимаются, придавая ленте форму желоба.

Культуральная жидкость поступает на верхнюю ветвь ленты и при движении над вакуумными камерами фильтрат через фильтрующие поры ленты проходит в отсеки вакуумной камеры, а твердые частицы суспензии остаются на поверхности ленты. При дальнейшем перемещении ленты осадок в случае необходимости промывают, при этом промывной фильтрат отводится в следующий отсек вакуумной камеры, а твердый осадок движется дальше, просуши-

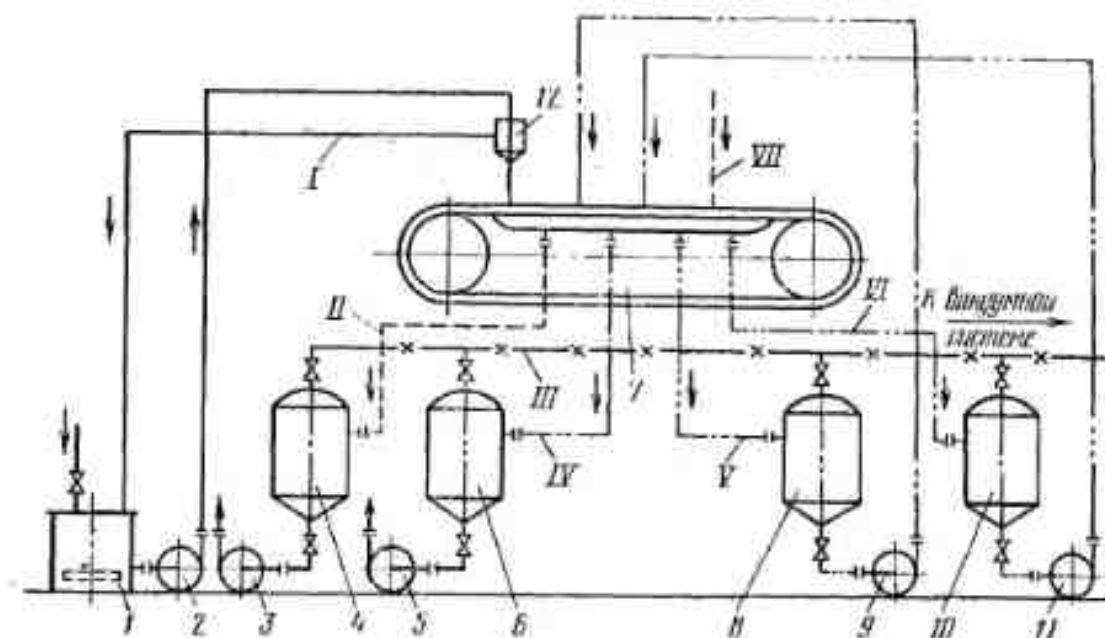


Рис. 7.10. Схема установки ленточного вакуум-фильтра с противоточным промыванием осадка:

1 — бак с мешалкой для суспензии; 2 — насос для подачи суспензии; 3 — насос для откачки фильтрата; 4 — ресивер для фильтрата; 5 — насос для откачки первого промывного фильтрата; 6 — ресивер для первого промывного фильтрата; 7 — вакуум-фильтр; 8 — ресивер для второго промывного фильтрата; 9 — насос для откачки второго промывного фильтрата и подачи его на первую промывку; 10 — ресивер для третьего промывного фильтрата; 11 — насос для откачки третьего промывного фильтрата и подачи его на вторую промывку; 12 — дозирующий бачок; I — суспензия; II — основной фильтрат; III — воздух; IV — первый промывной фильтрат; V — второй промывной фильтрат; VI — третий промывной фильтрат; VII — вода

вается, отделяется от ткани с помощью ножа и поступает в приемный бункер.

Процесс фильтрования легко регулируется изменением высоты слоя осадка, скоростью движения ленты над вакуумными камерами, изменением положения перегородок, разделяющих зоны фильтрования, промывания и сушки в вакуумных камерах. Привод барабана обеспечивает плавное регулирование скорости движения ленты в широких пределах, что позволяет выбрать оптимальный режим фильтрования для широкой номенклатуры микробных культур.

При работе ленточного вакуум-фильтра без промывания осадка удельный расход воздуха составляет 0,8—3 м³ на 1 м² фильтрующей поверхности, а при промывании осадка водой — в 2 раза меньше.

Регенерацию фильтрующей способности ленты проводят с помощью форсунок и перфорированных труб, через которые противоточно движению нижней ветви ленты подается вода. При каскадном противоточном промывании можно проводить регенерацию ленты даже при образовании липких и мажущихся осадков.

Удельная производительность ленточных вакуум-фильтров при фильтровании грибных культур составляет от 1000 до 1500 л/(м²·ч), а бактериальных — в 4—6 раз меньше.

Все детали ленточных вакуум-фильтров, соприкасающиеся с продуктами микробиологического синтеза, изготавливают из стали

Таблица 7.2. Техническая характеристика ленточных вакуум-фильтров

Показатели	Л1, 6-0,5-3,2-1; Л11, 6-0,5-3,2-11	Л2, 5-0,5-4,8-1; Л2, 5-0,5-4,8-11	Л3, 2-0,5-5,5-1; Л3, 2-0,5-5,5-6-111	Л-40-5,8-1; Л-40-5,8-11	Л4-10-1,25-8
Площадь поверхности фильтрации, м ²	1,6	2,5	3,2	4	10
Ширина ленты, мм	500	500	500	500	1250
Длина вакуум-камеры, мм	3200	4800	6400	6400	3000
Скорость движения ленты, м/мин	0,8—4,8	0,8—4,8	1—6	1,5—9	4—10
Мощность электродвигателя привода ленты, кВт	3	3	5,5	5,5	10
Частота вращения вала, мин ⁻¹	1430	1430	1450	1450	970
Габаритные размеры, мм	5580× ×1970× ×1750	7200× ×1970× ×1750	8790× ×1970× ×1750	11 630× ×1970× ×2100	13 560× ×4650× ×3500
Масса фильтра с приводом, кг	3600	4170	5060	6740	20 360

X18H10T, барабаны и поддон гуммируют, кожух фильтра герметизируют.

Техническая характеристика ленточных вакуум-фильтров представлена в табл. 7.2.

Преимуществами ленточных вакуум-фильтров являются отсутствие распределительной головки для суспензии; возможность осаждения крупных частиц под действием силы тяжести, благодаря чему ускоряется процесс фильтрования; удобство промывания осадка; возможность работы с тонким слоем осадка. Существенными недостатками ленточных вакуум-фильтров являются большие габариты установки, сравнительно малая поверхность фильтрования, строгая подача суспензии, получение мутного фильтрата и охлаждение фильтруемой суспензии.

За рубежом выпускаются ленточные вакуум-фильтры с поверхностью фильтрования при одной ленте от 0,25 до 40 м² и при двух лентах и двух вакуумных камерах — до 80 м².

Барабанные вакуум-фильтры. Эти фильтры применяются для отделения биомассы микроорганизмов от культуральной жидкости и фильтрования суспензий, имеющих твердые взвеси различной структуры (волокнутой, коллоидной или аморфной), которые составляют от 50 до 500 г/л.

Удельная производительность барабанной вакуум-фильтрационной установки зависит от физико-химических свойств разделяемой суспензии, фильтрующего материала, стадий, предшествующих фильтрованию, и колеблется в широких пределах. Барабанные вакуум-фильтры наиболее эффективны при разделении сус-

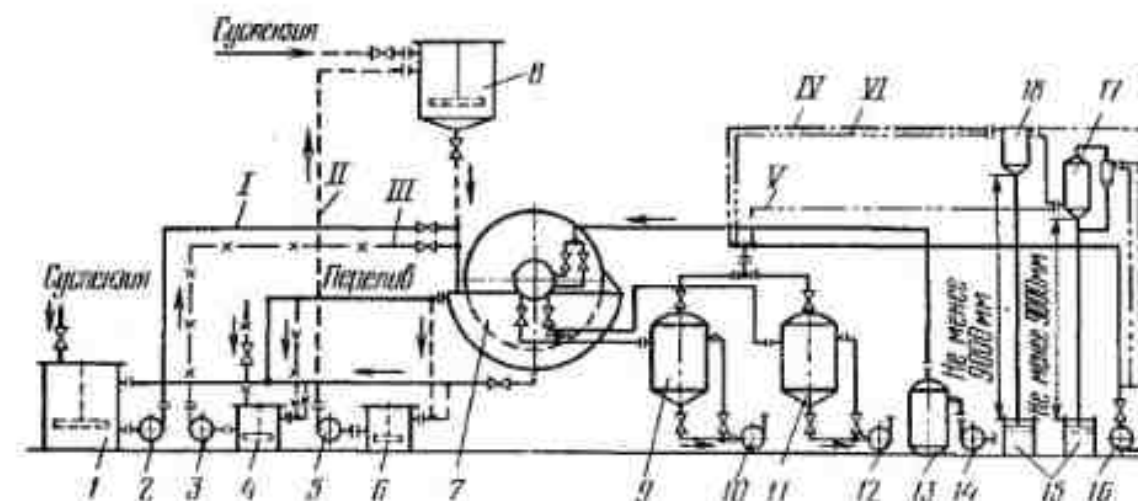


Рис. 7.11. Схема барабанной вакуум-фильтрационной установки непрерывного действия:

1, 8 — баки с мешалками для суспензии; 2 — насос для подачи суспензии; 3 — насос для подачи суспензии вспомогательного фильтрующего вещества; 4 — бак с мешалкой для суспензии вспомогательного фильтрующего вещества; 5 — насос для рециркуляции; 6 — бак с мешалкой для перелива суспензии; 7 — вакуум-фильтр; 9 — ресивер для фильтрата; 10 — насос для откачки фильтрата; 11 — ресивер для промывного фильтрата; 12 — насос для откачки промывного фильтрата; 13 — водоотделитель; 14 — воздушная ловушка; 15 — барометрические ящики; 16 — вакуум-насос; 17 — конденсатор; 18 — ловушка; I — основной вариант присоединения вспомогательного оборудования; II — вариант присоединения для быстроосаждающихся суспензий; III — суспензия вспомогательного фильтрующего вещества при варианте работы с намынным слоем; IV — вариант присоединения ловушки; V — вариант присоединения конденсатора; VI — вариант присоединения ловушки и конденсатора.

пензий с концентрацией твердой фазы свыше 2 %. Однако наибольшего эффекта фильтрования можно достичь при предварительном концентрировании суспензии путем отстаивания или с помощью гидроциклонов. При фильтровании нейтрализаторов удельная производительность по суспензии составляет 2—3 м³/(м²·ч), для грибных культур — около 1, а для бактериальных — до 0,2 м³/(м²·ч). Это можно объяснить тем, что мицеллярная масса хорошо отделяется непосредственно на барабанных вакуум-фильтрах, тогда как бактериальные и дрожжевые клетки без намынного слоя не фильтруются, а при нанесении фильтрующего слоя и добавлении 4—8 % перлита, диатомита или другого улучшителя фильтрования в культуральную жидкость удельная производительность фильтра может достичь 0,2 м³/(м²·ч).

Основным узлом в барабанных вакуум-фильтрационных установках (рис. 7.11) является барабан, разделенный на несколько секций, которые за один оборот барабаны проходят последовательно четыре зоны. Секции барабана покрыты перфорированным листовым материалом, на который натянута фильтрующая материя — бейтинг. Частота вращения барабана изменяется плавно в пределах от 0,13—до 3 мин⁻¹. Барабан вращается в специальных цапфах, установленных в подшипниках на боковых стенках поддона. Под барабаном расположен поддон с переливным желобом и качающейся мешалкой, работающей от индивидуального привода с частотой вращения до 0,3 мин⁻¹.

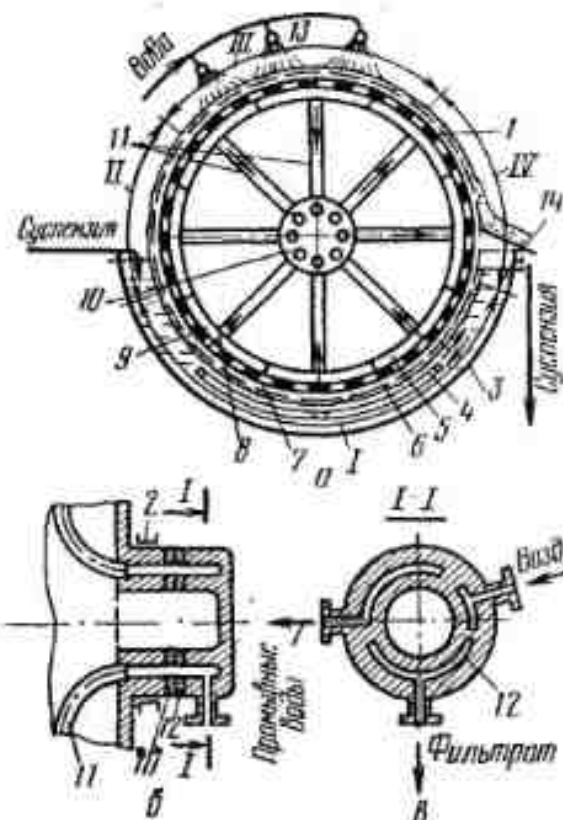


Рис. 7.12. Барабанный вакуум-фильтр:

1 — барабан; 2 — подшипники; 3 — крыто для суспензии; 4 — качающаяся мешалка; 5 — цилиндр внутренний сплошной; 6 — цилиндр наружный перфорированный; 7 — фильтрационная ткань; 8 — перегородки продольные; 9 — секции фильтра; 10 — фланец торцевой части полой цапфы; 11 — трубы; 12 — неподвижная часть головки с расположенными окнами в виде дуг; 13 — форсунки; 14 — нож для снятия осадка; I — фильтрование через ткань; II — просушка осадка; III — промывка осадка; IV — отдувка и разрыхление осадка

Барабанные вакуум-фильтры рассчитаны на глубину погружения на $\frac{1}{3}$ и $\frac{2}{3}$ диаметра в зависимости от седиментационных свойств суспензии. Оптимальный угол погружения барабана равен $130-149^\circ$.

Работа вакуум-фильтрационной установки осуществ-

ляется следующим образом. Готовая культуральная жидкость из сборника подается в поддон, где ее уровень остается примерно постоянным. Процесс фильтрования осуществляется в четырех зонах по ходу вращения барабана (рис. 7.12). В зоне сектора I ($130-149^\circ$) происходит фильтрование под вакуумом через ткань на барабане с одновременным отложением на ней осадка. В зоне сектора II ($54-55^\circ$) осадок подсушивается вследствие того, что засасываемый в секцию воздух увлекает с собой влагу из осадка. В зоне сектора III ($90-100^\circ$) проводят промывку осадка путем орошения его водой или другой промывной жидкостью. В зоне IV ($85-55^\circ$) производят отдувку и разрыхление осадка сжатым воздухом, поступающим внутрь секции, и очистку фильтра от осадка с восстановлением его фильтрующих свойств.

Система создания вакуума включает вакуум-насос, приемники фильтрата и промывных вод и ловушки. Фильтрат удаляют из приемников с помощью насоса. Снятие осадка с барабанных фильтров осуществляется несколькими способами в зависимости от свойств осадка. Для толстого слоя легко снимаемой мицеллярной маесы используются скребки, для тонких и липких слоев бактериальных клеток устанавливают валики и для снятия осадков средней и большой толщины применяют шнур.

Барабанные фильтры изготовляют из коррозионностойких сталей, пластмасс и гуммированных материалов, и поэтому их можно применять для фильтрования агрессивных суспензий при температуре от 0 до 50°C .

Вакуум-фильтрационные установки помимо вакуум-фильтра

Таблица 7.3. Техническая характеристика барабанных вакуум-фильтров

Показатели	ВШТ-1	БОК-3-1,75	БОК-10-2,6
Площадь поверхности фильтрации, м^2	1	3	10
Размеры барабана, мм			
диаметр	1000	1750	2600
длина	345	630	1350
Объем жидкости в поддоне, л	130	1000	3500
Мощность электродвигателя, кВт	0,6	1,1	2,2
Габаритные размеры, мм	1415×1515×1625	2200×2400×2550	3000×3200×3370
Масса, кг	835	2176	2580

Продолжение табл. 7.3

Показатели	БОК-20-2,6	БТР-30-3,14	БТР-45-3,14
Площадь поверхности фильтрации, м^2	20	30	45
Размеры барабана, мм			
диаметр	2600	3140	3140
длина	2600	3070	4570
Объем жидкости в поддоне, л	4200	3500	4200
Мощность электродвигателя, кВт	3	5,5	5,5
Габаритные размеры, мм	4570×3230×3330	5300×4650×4150	7100×7770×4070
Масса, кг	4142	22 484	29 960

оснащают многочисленным вспомогательным оборудованием: вакуум-насосами, воздуходувками, центробежными насосами, ресиверами, ловушками, сборниками и др.

Производительность вакуум-насоса подбирают исходя из удельных норм расхода воздуха при работе барабанного вакуум-фильтра без промывания и с промыванием осадка, которые равны соответственно $0,5-2$ и $0,4-1,4 \text{ м}^3$ на 1 м^2 фильтрующей поверхности. В случае фильтрования токсичных и взрывоопасных суспензий, например после осаждения ферментов из раствора спиртом или ацетоном, целесообразно применять герметизированные вакуум-фильтры. С целью предотвращения образования взрывоопасной смеси с воздухом в верхнюю часть корпуса подают инертный газ под избыточным давлением до 10 кПа .

Таблица 7.4. Техническая характеристика герметизированных барабанных вакуум-фильтров

Показатели	БГН-3-1,75	БГР-10-2,4	БГХ-50-3
Площадь поверхности фильтрации, м ²	3	10	50
Размеры барабана, мм			
диаметр	1750	2600	3002
длина	630	1315	5404
Угол погружения барабана в суспензию, град	135	144	148
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	0,108—2,05	0,4—2,4	0,38; 0,55; 0,75
Объем жидкости в поддоне, л	1000	3500	4200
Мощность электродвигателя привода барабана и мешалки, кВт	1,1	3,0	7,5
Габаритные размеры, мм	2460×2470× ×2630	3550×3700× ×3500	9300×4500× ×4235
Масса, кг	3038	10 350	32 825

Отдувку осадка и регенерацию фильтрующей ткани осуществляют воздухом, подаваемым под давлением 50—100 кПа, расход которого составляет 0,1—0,5 м³/м².

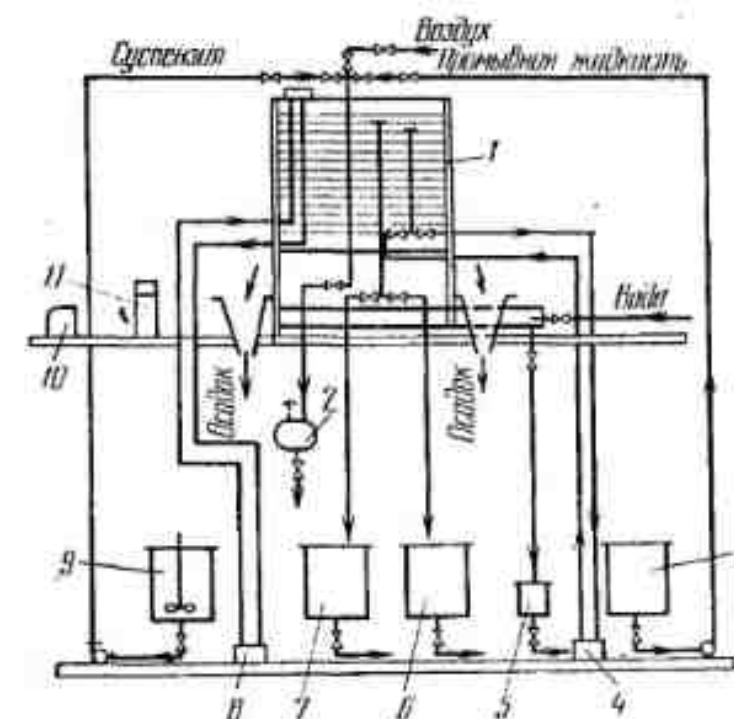
Автоматические камерные фильтр-прессы ФПАКМ. Фильтр-прессы типа ФПАКМ предназначены для разделения тонкодисперсных суспензий с размером частиц не более 3 мм и содержанием твердой фазы от 10 до 500 кг/м³ при температуре до 80 °С. Этот фильтр позволяет осуществлять по заданной программе в автоматическом режиме все технологические и вспомогательные операции: фильтрование, промывание, прессование и сьем осадка, подъем и опускание фильтрующих плит. Фильтр-пресс ФПАКМ имеет целый ряд преимуществ перед другими фильтрами и фильтр-прессами. Он обладает развитой фильтрующей поверхностью; для его размещения требуется незначительная производственная площадь (например, установка, имеющая поверхность фильтрования 25 м², занимает площадь около 8 м²); отжим отделенного осадка, производимый под давлением 0,8—1,5 МПа, позволяет получить биомассу влажностью в пределах 60—70 % при сравнительно малом расходе электроэнергии (0,8—1 кВт ч/м² фильтрующей поверхности); небольшое время проведения вспомогательных операций, что повышает удельную производительность установки в 6—8 раз по сравнению с другими фильтр-прессами.

Управление технологическими операциями на фильтр-прессе осуществляется с помощью электрогидравлического устройства, полностью исключая затраты ручного труда, что обеспечивает высокую культуру производства.

Автоматический камерный фильтр-пресс ФПАКМ (рис. 7.13) состоит из горизонтальных фильтровальных плит, расположенных

Рис. 7.13. Схема установки автоматического камерного фильтр-пресса ФПАКМ:

1 — фильтр-пресс; 2 — сборник для сбора из коллектора подачи; 3 — резервуар промывной жидкости; 4 — водонасосная станция; 5 — сборник воды из камеры регенерации; 6 — сборник промывного фильтрата; 7 — сборник фильтрата; 8 — маслососная станция; 9 — резервуар для суспензии; 10 — станция управления; 11 — пульт управления



одна над другой между опорной и нажимной плитами. Плиты могут перемещаться вверх и вниз вдоль четырех направляющих за счет перемещения нажимной плиты, приводимой в движение электродвигателем через систему механизмов. При опускании плит между ними образуется зазор в 45 мм, а расположенные сверху и внизу опорная и нажимная плиты, имеющие боковые патрубки, образуют коллекторы подачи суспензии и отвода фильтрата. В зазорах между плитами протянута бесконечная лента фильтровальной ткани марки Ф толщиной 1,5—2 мм. Каждая фильтровальная плита имеет сверху решетку, на которой располагается тканевая лента с образующимся осадком, а под решеткой — поддон для приема фильтрата. Под поддонами укреплены эластичная резиновая диафрагма, с помощью которой под напором воды осуществляют отжатие осадка.

При сборке фильтра между соседними плитами образуются рабочие камеры с каналами над лентой для подвода суспензии, каналами под решетками для отвода фильтрата, а между диафрагмами и поддонами — каналы, через которые подается вода для отжима и прессования осадка при давлении до 1,5 МПа. Основания плит имеют резиновые уплотняющие прокладки.

В схему кроме фильтр-пресса входят сборник 2 для сбора остатка суспензии и промывной жидкости из коллектора подачи, емкость 3 для промывной жидкости, водонасосная станция 4, сборник воды 5 из камеры регенерации, сборник 6 для промывного фильтрата, сборник 7 фильтрата, маслососная станция 8, емкость 9 для суспензии, станция управления 10 и пульт управления 11.

Фильтр-пресс работает следующим образом. Культуральная жидкость подается по боковым патрубкам коллектора одновременно ко всем плитам, где происходит ее фильтрование. Фильтрат поступает в сборник, а осадок остается на поверхности фильтровальной ткани. Отделение культуральной жидкости от биомассы происходит достаточно полно, и фильтрат получается прозрачным

при фильтрации и отжиме осадка при давлении 0,4 МПа. При дальнейшем повышении давления отжима до 0,8 МПа и выдерживании в течение 5—6 мин остаточная влажность осадка достигает 65—70 %. Уноса твердой фазы с фильтратом при давлении фильтрации 0,4 МПа не происходит, а при отжиме осадка под давлением 0,8 МПа максимальный унос составляет не более 0,09 г/л фильтрата. При необходимости осадок перед отжимом может быть промыт и затем спрессован диафрагмой либо обработан сжатым воздухом. Жидкость для промывания осадка подают на фильтр-пресс специальным насосом, которая затем самотеком спускается в резервуар промывного фильтрата.

Лента, на которой в рабочих камерах образуется осадок, приводится в движение после прекращения подачи суспензии и раскрытия фильтрата, когда между плитами образуется зазор до 45 мм для выхода ленты с осадком. При движении ленты осадок выносятся из межплиточного пространства и выгружается с двух сторон. Фильтрующая ткань промывается холодной водой с помощью форсунок под давлением 0,3 МПа и очищается скребками или щетками. При движении ленты между плитами чередуется положение ее сторон, что обеспечивает ее полную очистку и эффективность работы. После очистки ленты фильтрующие плиты сжимаются и цикл повторяется.

Таблица 7.5. Техническая характеристика автоматических камерных фильтр-прессов ФПАКМ

Показатели	2,5Н	5Н	10Н	25Н	50Н
Площадь поверхности фильтрации, м ²	2,5	5	10	25	50
Число фильтрующих плит	6	6	12	16	20
Размеры фильтрующей ткани, мм					
длина	17 000	20 000	35 000	50 000	70 000
ширина	700—750	845—920	845—920	1100—1200	1 450
Мощность электро-двигателя механизма зажима плит, кВт	3	5,5	5,5	7,5	10
Мощность электро-двигателя механизма перемещения ленты, кВт	1,5	1,5	3	3	5,5
Мощность электро-двигателя насоса, кВт			1,5		
Мощность электро-двигателя водяного насоса, кВт	17	17	17	22	22
Габаритные размеры, мм	2660× ×1760× ×2750	3375× ×2000× ×2780	3375× ×2000× ×3525	3780× ×1250× ×4240	5000× ×2530× ×5550
Масса, кг	4800	6900	8670	14 300	23 300

Таблица 7.6. Средние показатели работы фильтров

Показатели, определяющие метод фильтрации и выбор фильтра	Дентонный фильтр	Барабанный вакуум-фильтр	Фильтр-пресс ФПАКМ
Площадь поверхности фильтрации, м ²	До 10	До 40	До 50
Удельная производительность по фильтрату при фильтрации различных суспензий, м ³ /(м ² ·ч)			
с кристаллическими веществами		2—4	4—8
с кристаллическими и аморфными веществами	0,15—0,4	0,1—0,2	0,2—0,5
с бактериальными клетками или актиномицетами*	0,15—0,4	0,1—0,2	0,2—0,5
с мицелиальными грибами	0,5—2,0	0,5—1,0	1,0—4,0
Технико-экономические показатели работы при содержании твердой фазы в суспензии, г/л			
до 5*	Средние	Средние	Средние
» 10*	»	»	Высокие
» 150	Высокие	»	Средние
свыше 150	Средние	Высокие	Низкие*
Получение чистого фильтрата	Низкие	Средние	Высокие
Промывание осадка	Средние	Высокие	Средние
Выполнение узлов фильтров из кислотостойкой стали или титана	»	»	Низкие
Гуммирование отдельных узлов	»	Средние	»

* При использовании вспомогательных фильтрующих веществ.

Удельная производительность фильтр-пресса ФПАКМ при концентрации твердой фазы в суспензии 4—7 г/л составляет около 1000 л/(м²·ч), рабочее давление — 1,2 МПа.

7.3.3. Выбор и расчет фильтров

Выбор фильтров производят, исходя из физико-химических свойств суспензии, требований к очистке фильтрата и осадка, влажности получаемого осадка, последовательности и числа операций, технико-экономических показателей, производительности и др. Средние показатели, с помощью которых можно приблизительно выбрать необходимый тип фильтра для фильтрации суспензий на микробиологических производствах, приведены в табл. 7.6.

Схема и последовательность расчета фильтров зависят от типа и конструктивных особенностей фильтров, а также от режима их работы.

Производительность фильтров периодического действия зависит от длительности всех операций, входящих в цикл фильтрации.

Продолжительность одного цикла фильтрации (с)

$$T_n = t_{\text{ф}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{исп}},$$

где $t_{\text{ф}}$, $t_{\text{пр}}$ и $t_{\text{исп}}$ — соответственно продолжительность собственно фильтрации, промывания осадка, разгрузки и подготовки фильтра к фильтрованию, с.

Производительность Π ($\text{м}^3/\text{ч}$) фильтра рассчитывается, исходя из объема суспензии, подаваемой на фильтрацию, по формуле

$$\Pi = 3600V/T_n,$$

где V — количество подаваемой суспензии, м^3 .

Если известны средняя скорость фильтрования v [$\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$] (скорость прохождения фильтрата через фильтрующий слой или пластину) и площадь поверхности фильтрования F (м^2), то производительность фильтра

$$\Pi = vF.$$

Средняя скорость фильтрования колеблется в пределах 0,25—0,9 $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Необходимое количество камер n в камерных фильтрах можно определить по формуле

$$n = F/f,$$

где f — площадь поверхности фильтрования одной камеры, м^2 .

$$f = 2(a - 2b)^2,$$

где a — сторона квадрата плиты или рамы по наружным размерам, м ; b — ширина поверхности контакта плиты и рамы, м .

Ширина камеры должна быть не менее чем в 2 раза больше слоя осадка, в противном случае необходимо будет увеличить количество камер. Давление фильтрования, которое может изменяться в широком диапазоне — от 0,1—0,2 до 0,7—0,8 МПа и более, определяют опытным путем.

Величины силы P_1 (МН) давления жидкости на плиту и силы P_2 (МН) давления на площадь контакта между плитой и рамой соответственно будут

$$P_1 = F_{\phi} p_p \text{ и } P_2 = F_{\text{упл}} p_{\text{упл}},$$

где F_{ϕ} — площадь поверхности плиты, на которую давит фильтруемая жидкость, м^2 ; p_p — давление жидкости при фильтровании, МПа ($p_p = 0,1 \div 0,4$ МПа); $F_{\text{упл}}$ — площадь поверхности контакта между плитой и рамой, м^2 ; $p_{\text{упл}}$ — минимальное давление на площадь контакта, необходимое для герметизации стыка между плитой и рамой, МПа.

Исходной величиной для расчета механизма зажима будет сила $P \geq P_1 + P_2$.

Для фланцев, соприкасающихся по двум одинаковым гладким поверхностям,

$$P_{\text{упл}} \geq 3p_p.$$

Для непрерывнодействующего барабанного вакуум-фильтра продолжительность полного цикла фильтрования (с)

$$T_n = m(\tau_{\phi} + \tau_{\text{пр}})/(m_{\phi} + m_{\text{пр}}),$$

где τ_{ϕ} и $\tau_{\text{пр}}$ — продолжительности собственно фильтрования и промывки осадка, с; m , m_{ϕ} и $m_{\text{пр}}$ — соответственно общее число секций, число секций в зоне фильтрования и зоне промывки. Величины m , m_{ϕ} и $m_{\text{пр}}$ обычно задают или принимают по опытным данным.

Если обозначить через F (м^2) площадь поверхности фильтрования и через q ($\text{м}^3/\text{м}^2$) удельную производительность фильтра, то количество фильтрата, полученного за один цикл, составит qF (м^3), а часовая производительность фильтра ($\text{м}^3/\text{ч}$)

$$\Pi = 3600qF/T_n.$$

По продолжительности собственно фильтрования τ_{ϕ} (с) можно определить степень погружения φ барабана в суспензию:

$$\varphi = \tau_{\phi}/T.$$

Частота вращения барабана вакуум-фильтра, мин^{-1} .

$$n = 60/T_n.$$

7.4. ФЛОТАТОРЫ

Флотацией называют процесс выделения мелких твердых частиц суспензий, основанный на их способности прилипать к пузырькам воздуха и подниматься вверх, концентрируясь в виде пены. Этот способ разделения наиболее эффективен в производстве дрожжей. При всплывании пузырьков воздуха образуются смешанный пенный слой, состоящий из дрожжевых пузырьков воздуха и небольшого количества культуральной жидкости, и обработанная обедненная культуральная жидкость. В верхнем слое концентрация дрожжей в 4—6 раз выше, чем в исходной культуральной жидкости.

Применение флотации в дрожжевом производстве позволяет сократить количество дорогостоящих сепараторов, значительно снизить энергозатраты и обеспечивает непрерывность технологического процесса. Процесс флотации дрожжей зависит от увеличения количества ионов калия в культуральной жидкости, ввода в нее поверхностно-активных веществ, а также от содержания лигносульфонатов в сульфитном щелоке. При наличии высших жирных кислот в исходной жидкости флотационная способность дрожжей резко снижается.

Коэффициентом флотации называют отношение концентрации биомассы в суспензии, выходящей из флотатора, к концентрации биомассы в исходной среде. Величина коэффициента флотации зависит от вязкости среды и увеличивается с увеличением продолжительности отстаивания пены. В производственных условиях коэффициент флотации обычно равен 4—6. Увеличение его указывает на снижение производительности флотационного аппарата.

Флотаторы как аппараты для концентрирования дрожжей можно классифицировать по способу насыщения жидкости воздуха и по конструкции.

По способу насыщения исходной культуры жидкости воздухом флотаторы делятся на три группы. К первой группе относятся аппараты, в которых исходная культуральная жидкость перед флотацией предварительно насыщается воздухом под избыточным давлением около 0,7 МПа до образования воздушных пузырьков в жид-

кости диаметром 0,01—0,1 мм и последующей обработкой ее во флотаторе при атмосферном давлении или небольшом вакууме. Во вторую входят аппараты, где флотация осуществляется диспергированным воздухом. При этом воздух, подаваемый в жидкость с помощью вспомогательных устройств, превращается в пузырьки диаметром до 1 мм. Большой диаметр пузырьков воздуха не позволяет достичь высокой производительности флотаторов и создает потери дрожжей в остаточной культуральной жидкости до 7 %. К третьей группе относятся электрофлотаторы. Это наиболее эффективные аппараты, так как в них на электродах в исходной жидкости выделяются водород и кислород в виде значительного количества малых пузырьков диаметром до 0,05 мм. Но этот способ требует еще дополнительной разработки устройств для обеспечения взрывобезопасности процесса, механизированной очистки быстро загрязняющихся электродов и др.

По конструкции флотаторы подразделяются на горизонтальные конические, вертикальные цилиндрические, одноступенчатые с внутренним стаканом, двухступенчатые.

Для очистки сточных вод с помощью флотации диспергированным воздухом применяются механические, пневмомеханические и пневматические флотационные установки.

Рассмотрим конструкции некоторых типов флотаторов. Наиболее простым и распространенным флотатором является цилиндрический одноступенчатый, в котором производят флотацию дрожжей с помощью растворенного воздуха.

Пневматический одноступенчатый флотатор. Флотатор представляет собой цилиндрическую емкость вместимостью 160 м³ и предназначен для концентрирования дрожжей, полученных на углеводных средах. Аппарат (рис. 7.14) состоит из наружного корпуса 2 с плоским дном и внутреннего стакана 1, являющегося пеносборником. Кольцевое цилиндрическое пространство между корпусом и пеносборником разделено на пять секций перегородками. В секции через аэраторы 6 подается воздух и образующаяся пена гасится с помощью механического пеногасителя 3, вращающегося от привода 4, и химического пеногасителя, поступающего из сборника 5. Отработавшая культуральная жидкость выводится через гидрозатвор 7 со дна последней, IV секции.

Флотатор работает следующим образом. Исходная культуральная жидкость, предварительно насыщенная воздухом, поступает из дрожжерастильного аппарата в I секцию флотатора, занимающую 2/3 объема флотатора. В этой секции из исходной жидкости извлекается 80 % дрожжей. Далее жидкость перемещается в секции II—V через нижние части секций, перегородки которых не доходят до дна аппарата. В эти секции с помощью аэраторов подают дополнительный воздух, что позволяет извлекать из них соответственно 10,5 и 2 % дрожжей. Образующая пена из всех секций переливается во внутренний стакан-пеносборник, где гасится с помощью механического пеногасителя. Механический пеногаситель представляет собой диск диаметром 500 мм с радиальными ребрами,

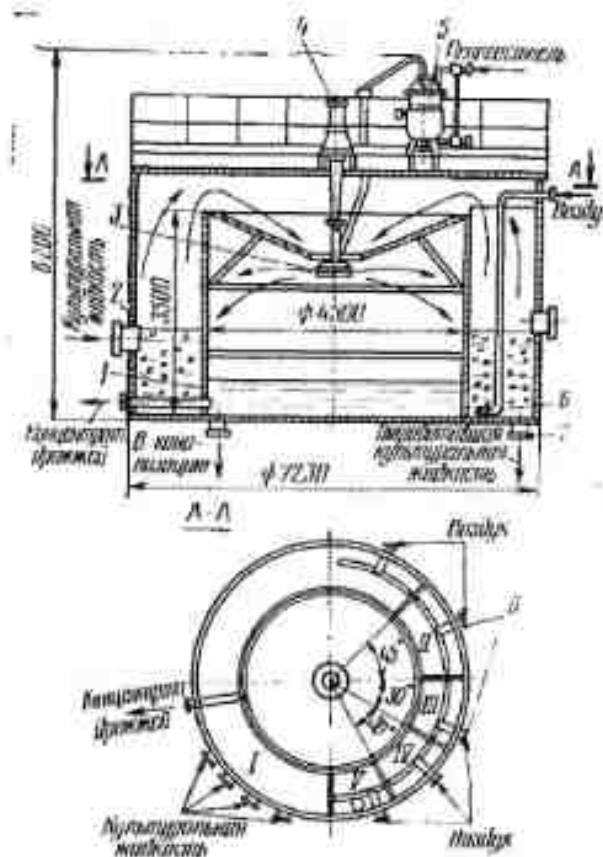
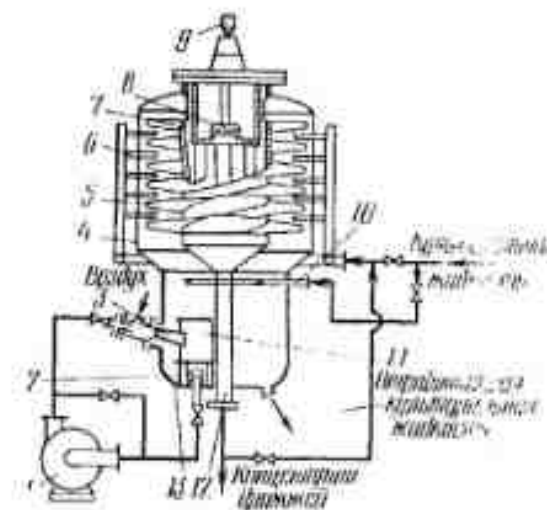


Рис. 7.14. Пневматический одноступенчатый флотатор

Рис. 7.15. Флотатор конструкции ВНИИсинтезбелок



расположенными на вертикальном валу, вращающемся с частотой 1460 мин⁻¹. На вращающийся диск подается эмульсия пеногасителя, которая, разбрызгиваясь, создает хороший контакт пены и капель пеногасителя. Образующийся концентрат дрожжей оседает на дно внутреннего стакана, откуда насосом через газоотделитель подается для дальнейшей концентрации дрожжей на сепараторы.

Производительность флотатора по исходной дрожжевой суспензии равна 140—180 м³/ч; плотность пены в кольцевом пространстве — 200—250 кг/м³; плотность дрожжевой суспензии — 1020—1040 кг/м³; удельная производительность 1 м³ кольцевого пространства флотатора — 2,8—3,2 м³/ч³ (по дрожжевой суспензии). Объем, занимаемый воздухом в суспензии, составляет 55—65 %, время пребывания среды во флотаторе — 8—12 мин, высота столба исходной жидкости в секциях флотатора — 0,7—0,9 м. Одноступенчатые флотаторы вместимостью 100 м³ имеют производительность 105—120 м³/ч.

Флотатор конструкции ВНИИсинтезбелок. Этот тип флотаторов применяется в производстве белково-витаминных концентратов на жидких парафинах. Дрожжевая суспензия (рис. 7.15) подается во флотатор через коллекторы 6 и 10. Для интенсивного насыщения исходной суспензии воздухом в аппарате установлены эжекторы 3, через которые насосом 1 через гидрозатвор 2 прокачиваются струи жидкости и воздуха, образуя хорошо диспергированную смесь. Смесь подается на направляющие пластины 11, с помощью которых пузырьки воздуха увлекают клетки дрожжевой суспензии, посту-

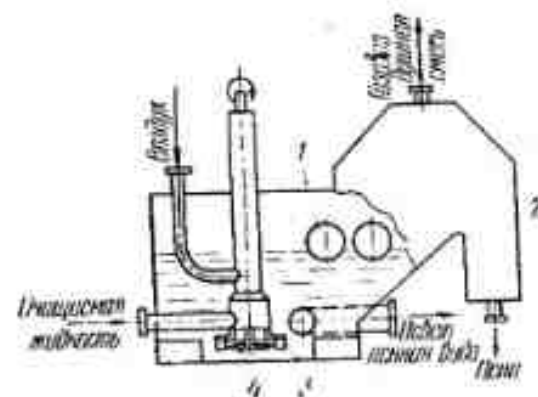


Рис. 7.16. Пневмомеханический флотатор

пающие из ферментатора в нижний стакан 13, откуда образованная пена направляется в верхний сосуд 4 флотатора, где проходит равномерно между витками шнека 5, поднимаясь вверх.

По мере продвижения по центральному стакану 7 пена дополнительно насыщается пузырьками воздуха, а в верхней части гасится с помощью механического пеногасителя 8, вращающегося от привода 9. Концентрат дрожжей, оседаемый в центральном стакане 7, выводится через нижний штуцер флотатора 12. По мере продвижения пены вверх по флотатору обедненная культуральная жидкость выделяется и по виткам шнека устремляется вниз. Часть отработавшей культуральной жидкости отбирается из нижней части флотатора, а другая часть насосом 1 снова подается в эжектор для дополнительного подсоса воздуха.

Принципиальным отличием этого флотатора от пневматического одноцилиндрового является установка дополнительных узлов для интенсификации насыщения дрожжевой суспензии воздухом.

Пневмомеханический флотатор. Пневмомеханический флотатор успешно применяется при очистке сточных вод и водных технологических растворов, содержащих большие количества примесей и загрязнений. Пневмомеханические флотаторы по сравнению с механическими значительно проще по конструкции, воздух в них диспергируется с помощью конических аэраторов, потребляющих меньшую электроэнергию, чем механические; объем вводимого воздуха в жидкость изменяется в широких пределах.

На рис. 7.16 показан пневмомеханический флотатор. Жидкость, поступающая на очистку, подается в пространство между лопатками статора 3 и вращающегося рабочего колеса-импеллера 4. В образуемую над импеллером зону разрежения поступает воздух, который интенсивно перемешивается с жидкостью. Пена, образуемая частицами примесей и воздухом, сбрасывается вращающимся пеноуловителем 1 в желоб 2, где разрушается и выводится на осветление или повторную флотацию. Внутренняя поверхность аппарата гуммирована. Производительность таких флотаторов составляет от 100 до 200 м³/ч, продолжительность флотации — от 3,4 до 1,7 мин.

Для повышения производительности пневмомеханических флотаторов и качества флотации аппараты монтируют в группы, состоящие из 5—6 установок. Пена из флотаторов отводится в горизонтальные отстойники для гашения. Производительность таких установок до 1000 м³/ч, продолжительность флотации не превышает 10 мин, эффективность очистки воды от взвешенных частиц достигает 90 %.

Пневматические флотаторы используются для очистки воды диспергированным воздухом от поверхностно-активных веществ (ПАВ). Флотация воды, содержащей ПАВ, основана на использовании свойств ПАВ концентрироваться в водных растворах на поверхности раздела вода—воздух и на поверхности пузырьков воздуха, вводимых в воду. Повышенная аэрация воды способствует ускорению процесса и концентрированию ПАВ в пенном слое. Пневматические флотаторы применяют также в схемах доочистки биологически очищенных сточных вод для удаления из них остатков ПАВ.

На рис. 7.17 показан флотатор для доочистки биологически очищенных сточных вод. Расход воздуха в нем составляет 5 м³ на 1 м³ очищенной воды. Продолжительность флотации 20—30 мин, интенсивность аэрации 35—40 м³/(м²·ч) при высоте слоя жидкости в камере до 3 м. Для удаления пены используется центробежный вентилятор. Вентилятор работает 4—5 мин, а затем выключается на 5—6 мин. В удаленной пене содержится 500—800 мг/л ПАВ.

Механические флотаторы. В этих флотаторах воздух засасывается из атмосферы потоком воды, приводимой во вращение рабочим колесом с лопатками (импеллером). При этом диспергирование воздуха осуществляется в межлопаточном пространстве рабочего колеса и при ударе воздуха о лопатки статора вращающейся водовоздушной смеси. В механических флотаторах в 1 м³ очищаемой жидкости можно ввести до 0,5 м³ воздуха для флотации тяжелых и крупных частиц размером 0,1—1,5 мм. Однако конструкция механического флотатора не позволяет получать высокую степень диспергирования воздуха (размер пузырьков воздуха менее 1—4 мм), что в свою очередь препятствует флотации тонкодисперсной или коллоидной смеси.

Для очистки сточных вод используют многокамерные флотационные установки, представляющие собой ряд последовательно соединенных аппаратов.

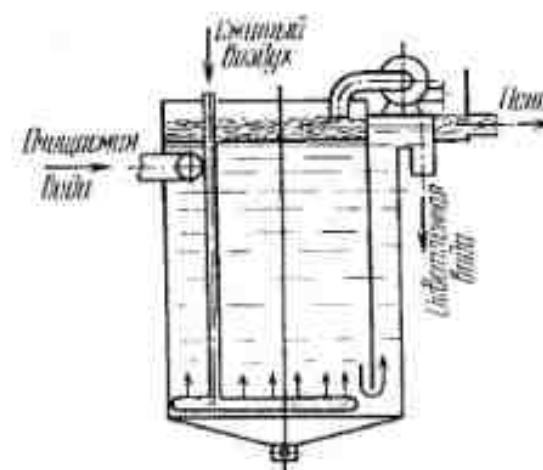


Рис. 7.17. Пневматический флотатор

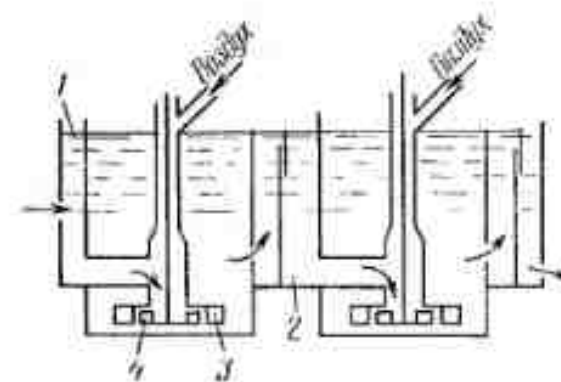


Рис. 7.18. Двухкамерная флотационная механическая установка

На рис. 7.18 показана двухкамерная флотационная механическая установка. Вода для очистки подается в приемный карман 1, из которого она поступает на вращающееся рабочее колесо 4 в статоре 3 первой камеры. Из первой камеры очищенная вода подается в переливной карман 2. Уровень воды в камере регулируется с помощью слива. Из кармана 2 вода поступает на рабочее колесо второй камеры, из которой выходит осветленная вода.

Флотация диспергированным воздухом наиболее эффективна при очистке сточных вод, содержащих грубодисперсные взвеси, обладающие хорошей флотационной способностью. К таким стокам относятся механические смеси эмульсий нефти, масел, жиров, которые быстро теряют стабильность.

Глава 8. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ТВЕРДЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ

Оборудование, предназначенное для культивирования микроорганизмов — продуцентов биологически активных веществ на твердых питательных средах, называют растильными установками.

Культивирование микроорганизмов на сыпучих средах имеет ряд преимуществ по сравнению с культивированием на жидких питательных средах. Так, скорость биосинтеза ферментов в 5—8 раз выше, кроме того, получаемая культура имеет влажность 40—50 % (в глубинной культуре — 80—95 %), что позволяет экономить значительные энергоресурсы при сушке. Однако до настоящего времени способ культивирования микроорганизмов на твердых питательных средах не нашел широкого промышленного применения из-за отсутствия достаточно надежных механизированных растильных установок.

Выход и активность биологически активных веществ, продолжительность процесса культивирования в значительной степени зависят от штамма микроорганизма, компонентного состава питательной среды, количества и качества посевного материала, температуры культивирования, степени аэрации растущей культуры, интенсивности перемешивания, массо- и теплообмена.

Весьма важное значение имеет выбор типа растильной установки и вспомогательного оборудования для обеспечения всех технологических требований.

8.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ТВЕРДЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ

Для выращивания микроорганизмов на твердых питательных средах применяются следующие конструкции растильных установок: камерные растильные установки с горизонтально расположенными перфорированными кюветами размерами 400 × 800 мм, механизированные растильные установки с вертикально расположенными перфорированными кюветами, механизированные установки типа ВИС-42Д, ленточно-конвейерные установки типа 4Г-КСК циклического и непрерывного действия, пластинчатые агрегаты непрерывного действия с применением растильных вибрационных установок, установки колонного типа с объемным аэрированием, а также растильные установки барабанного типа.

Первые ферментные заводы в нашей стране были оборудованы камерными растильными установками с горизонтально расположенными перфорированными кюветами. На некоторых предприятиях эти установки применяются до настоящего времени. Их не-

достатками являются большая трудоемкость операций, низкий уровень механизации технологических процессов и неизбежность контакта работающего персонала с растущей культурой микроорганизма.

Из перечисленных конструкций в промышленности применяются механизированные растительные установки с вертикально расположенными кюветами типа 4Г-КСК, а также установки колонного и барабанного типов. Для крупнотоннажного производства перспективными являются установки колонного и барабанного типов.

Накопление большого количества отходов сельского хозяйства, таких, как солома, хлопковая и подсолнечная шелуха, кукурузная кочерыжка, богасса; отходы переработки картофеля, сахарной свеклы и др. дает возможность использовать их для получения кормового белка как дешевого источника целлюлозы и крахмала.

Однако для выращивания микроорганизмов с целью биосинтеза белка не могут быть использованы обычные растительные камеры, которые применяются для культивирования микроскопических грибов на твердых питательных средах, поскольку высота слоя среды не превышает 3—5 см. Предприятия, производящие БФК, относятся к крупнотоннажным производствам, поэтому для завода производительностью 100 тыс. т БФК в год потребовалось бы 210 тыс. кювет. На таких производствах необходимо использовать растительные установки, удовлетворяющие следующим требованиям: высота слоя твердой питательной среды должна быть не менее 50 см; возможность создания стерильных условий; максимальная биотрансформация питательных веществ сырья в белок.

Аппараты для производства БФК могут быть периодического и непрерывного действия. Аппараты периодического действия обычно выполняются в виде горизонтальных барабанов, в которых помимо основного процесса культивирования микроорганизмов можно осуществлять экстракцию биологически активных веществ из выращенной культуры.

В качестве аппаратов непрерывного действия, как правило, используются аппараты колонного типа, разделенные на секции. Число секций зависит от производительности установки и технологии культивирования.

8.2. КАМЕРНЫЕ РАСТИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ С ГОРИЗОНТАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ПЕРФОРИРОВАННЫМИ КЮВЕТАМИ

В производственных условиях для поверхностного выращивания культур грибов в кюветах применяются растительные камеры, количество которых зависит от суточной производительности предприятия по сухой культуре гриба. Для ориентации укажем, что при производительности 1 т/сут необходимы 3—4 растительные камеры. Для заводов производительностью 10 т/сут число растительных камер составит 30—40.

Растительная камера представляет собой прямоугольное герметизированное помещение размерами 10000 × 2800 × 2100 мм с двумя

дверьми, одна из которых соединена с загрузочным, а другая — с разгрузочным коридором. Внутри камеры с одной стороны имеются воздуховоды с тремя патрубками для подачи кондиционированного воздуха, а с противоположной — воздуховоды для удаления отработанного воздуха. Площадь камеры рассчитана на одновременную загрузку 18—20 этажерок с 9—10 кюветами на каждую сторону, что в пересчете на воздушно-сухие отруби составляет 700 кг. Расстояние между полками принимается равным 80—100 мм. Этажерки устанавливают в камере широкой стороной так, чтобы между ними был свободный проход для обслуживания шириной 1000—1200 мм и расстояния от стен было равно 300—200 мм.

Индивидуальные кондиционеры, расположенные над растительными камерами, подают в камеры воздух температурой 22—32 °С и относительной влажностью 96—98 %. Воздух рециркулирует с добавлением от главного кондиционера 10 % свежего воздуха. Загрузочные и разгрузочные коридоры растительных камер должны быть изолированы от соседних помещений. Это достигается с помощью приточно-вытяжной вентиляции при кратности обмена воздуха до 8 и тщательной очисткой удаляемого воздуха от спор.

Выращивание производственной культуры в растительных камерах использовалось на начальных этапах развития производства ферментных препаратов. Попытки создать механизированные растительные установки с горизонтально расположенными кюветами не дали положительных результатов, так как они металлоемки и малопродуктивны.

8.3. МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ РАСТИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ С ВЕРТИКАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ КЮВЕТАМИ

Растительная установка конструкции Соловьева. Камера этой установки представляет собой прямоугольную металлическую емкость, закрепленную на опорах с помощью упругих связей. Сверху она закрывается откидной крышкой, а снизу — откидным днищем. Внутри камеры через каждые 50 мм расположены вертикальные двустенные перфорированные кассеты, через которые подается воздух. Ячейки вертикального канала, образующиеся между кассетами, являются кюветами. Они имеют решетчатое днище, препятствующее просыпанию среды при загрузке. Камера снабжена штуцерами для подвода пара, воды и отвода конденсата. К камере прикреплен дебалансный вибратор для выгрузки культуры гриба.

Контроль и регистрация температуры ведутся с помощью контактного термометра, установленного в одном из растительных каналов и соединенного с приводом вентилятора через пусковое реле, которое автоматически включает и выключает вентилятор.

Существенными конструктивными недостатками растительных установок с вертикальными кюветами являются малая производительность, деформация камер и затрудненная выгрузка выращенной культуры гриба из кювет, недостаточная герметизация при выгрузке и большой расход воздуха на отвод физиологического тепла.

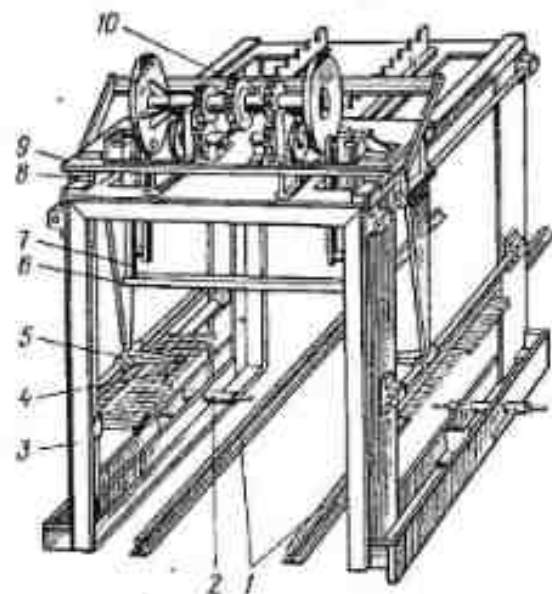


Рис. 8.1. Устройство для автоматической разгрузки культуры гриба из камер с разъемными кассетами:

1 — рельсовый путь; 2 — фиксатор; 3 — рама; 4 — упор; 5 — собачка; 6 — планка; 7 — шток; 8 — башмак; 9 — платформа; 10 — звездочка

Растильная камера с разъемными кассетами и автоматической выгрузкой. Эта установка является модификацией установки Соловьева. Растильная камера представляет собой металлический прямоугольный короб с вмонтированными в него разъемными

вертикальными кассетами. Камера установлена на раме с колесами и может перемещаться по рельсам. Для фиксирования в определенном положении камера снабжена фиксатором. Кюветы образованы двумя полукюветами, шарнирно связанными в верхней части камеры. Стыкование кювет производится при помощи рукоятки, снизу кюветы закрываются шиберами, управляемыми рычагами. Аэрация культуры осуществляется через расположенные в кюветах воздушные каналы. Разъем кюветы происходит в ее торцах за счет отбортованных краев, которые в сомкнутом положении входят один в другой.

Устройство для выгрузки (рис. 8.1) выращенной культуры из кювет расположено над растильной камерой и состоит из связанных между собой приспособлений для фиксации кювет 2; механизма открывания кювет, расположенного симметрично по обеим сторонам камеры; механизма выталкивания, включающего расположенную в горизонтальной плоскости планку 6, укрепленную на вертикальных штоках 7, совершающих возвратно-поступательное движение. Приспособление для фиксирования кювет 2 включает два параллельных симметричных относительно продольной оси камеры вала с пальцами. Механизм открывания кювет имеет две планшайбы с шатунами, рейку, укрепленную на направляющих, расположенных с двух сторон камеры и служащих для ее перемещения.

Все устройство крепится на платформе 9, которая опирается на раму 3 с помощью башмаков 8. Установка приводится в движение от электродвигателя. Растильная камера с выращенной культурой по рельсовому пути 1 перемещается под устройство для выгрузки и фиксируется в заданном положении. Затем рычагом открываются шиберы кювет, а рукояткой раскрывается первая по ходу разгрузки камеры кювета.

При включении электродвигателя рейка с укрепленной на ней подпружиненной собачкой 5 начинает перемещаться по направ-

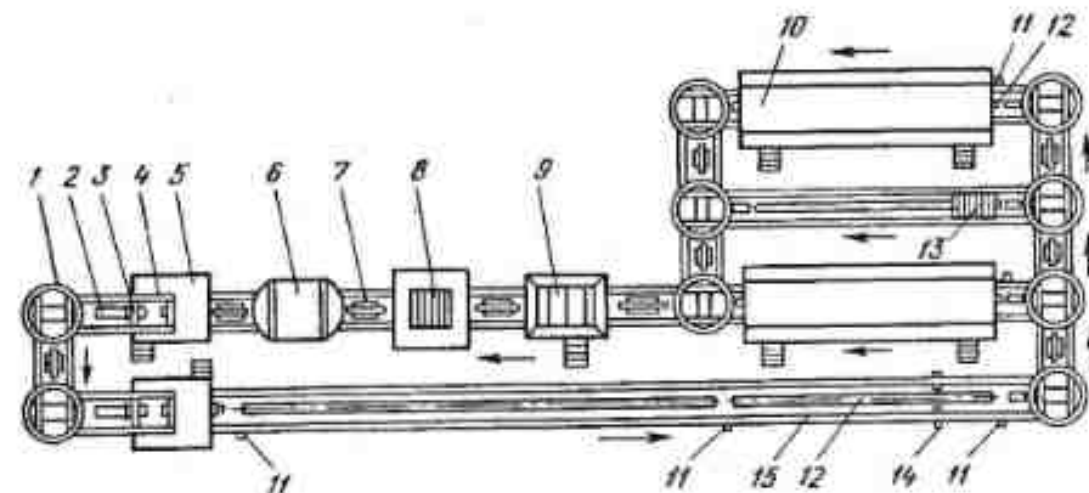


Рис. 8.2. Отделение выращивания поверхностной культуры:

1 — проворотный круг; 2 — толкатель; 3 — разравниватель; 4 — лоток загрузки; 5 — стол загрузки; 6 — стерилизатор камер; 7 — толкатель; 8 — мойка камер; 9 — стол разгрузки; 10 — камера выращивания; 11 — конечный выключатель; 12 — транспортер; 13 — растильная камера; 14 — крепежные болты; 15 — рельс

ляющим, отодвигая нижнюю часть полукюветы. После этого приводится в действие механизм выталкивания: планка 6 опускается вниз, выталкивает выращенную культуру из кюветы и поднимается. Когда планка поднимется выше кюветы, платформа начнет перемещаться по раме 3 с помощью башмаков 8 в положение над следующей кюветой. Вместе с платформой перемещается упор 4, закрепленный на направляющей и, взаимодействуя с пальцами, передвигает его в крайнее положение, тем самым освобождая очередную кювету.

При установке семи растильных камер можно получать в сутки 1200 кг культуры гриба. Растильные камеры изготовляют из алюминиевого сплава АМГ-17, их вместимость равна 500 кг, габаритные размеры камеры 1600 × 1300 × 1020 мм, масса 771 кг.

Механизированная линия для выращивания культур грибов. На основе растильных камер с разъемными кассетами разработана, смонтирована и эксплуатируется технологическая линия для механизированного выращивания и получения очищенных ферментных препаратов мощностью 50—300 условных т в год в зависимости от типа выпускаемого препарата.

Линия состоит из отделений подготовки питательной среды, выращивания, экстракции, осаждения, выделения и сушки, стандартизации и фасовки препарата со степенью очистки П10х. Наиболее важными стадиями технологической линии являются подготовка питательной среды и выращивание культуры гриба, состоящие из двух технологически независимых потоков (рис. 8.2). В каждом потоке имеются стерилизатор, смеситель, 9 растильных камер, помещенных в закрытый туннель с рельсовой системой 15 для последовательного перемещения камер от одной технологической операции к другой.

Со склада отруби и свекловичный жом подаются пневмотранспортом в приемный бункер, откуда поступают через шнековый

транспортёр в один из стерилизаторов. После загрузки в стерилизатор определенного количества воды и раствора сульфата аммония среду перемешивают и производят стерилизацию среды в автоматическом режиме. Затем среда передается в стерильный смеситель, куда поступают вода для увлажнения среды и гомогенизированная стерильная суспензия посевной культуры в количестве 0,1—0,8 % от массы питательной среды.

После перемешивания в течение 3—5 мин люк смесителя автоматически открывается и среда перегружается в подготовленную стерильную растильную камеру 13 с разъемными кассетами, установленную под смесителем на столе загрузки 5 отделения выращивания. Среда поступает в стерильную камеру через подвижной открытый лоток конусообразной формы, который распределяет ее по 28 кассетам. Уплотнение среды в каналах происходит при вибрации камеры, после чего она по рельсовому пути автоматически транспортируется в туннель камеры выращивания 10 одной из поточных линий.

Отделение выращивания оборудовано двумя аэрируемыми девятиместными камерами выращивания 10, расположенными параллельно, двумя узлами загрузки 3, 4, узлом разгрузки 9, измельчения культуры, мойки 8 и стерилизации камер 6. Все узлы соединены между собой рельсовыми путями 15 с поворотными кругами 1 и транспортирующими системами пятью цепными транспортерами и гидравлическими толкателями 2. Транспортировка камер от одного узла к другому производится автоматически.

Туннель камеры выращивания разделен на три участка: первый рассчитан на размещение шести последовательно расположенных растильных камер 13, второй — на две камеры и третий — на одну. Участки камеры выращивания герметизируют пневматическими створками с резиновыми уплотнениями. Каждый участок снабжен двумя противоположно расположенными диффузорами, калориферами и вентиляторами по замкнутой циркуляционной схеме. Каждые 3 ч в туннель поступает загруженная растильная камера, а предыдущая автоматически сдвигается на следующий участок. Таким образом в туннель камеры выращивания подается 9 растильных камер.

На первых участках в период лаг-фазы, когда происходит прорастание спор (продолжительность 16—18 ч), в камерах поддерживается температура 33—35 °С, в период активного роста (продолжительность 16 ч) интенсивность воздушного потока увеличивается, что обеспечивает отвод тепла и газообразных продуктов метаболизма при сохранении температуры среды 35—36 °С. На третьем участке выращивания в стадии накопления ферментов система аэрации рассчитана на поддержание оптимальной температуры на уровне 32—34 °С. Температура воздуха на каждом участке регулируется автоматически по заданной программе.

По окончании цикла выращивания растильная камера 13 выводится гидротолкателем 7 из туннеля и подается к столу разгрузки 9. Включается механизм передвижения камеры на столе

разгрузки и происходит перемещение камеры на один шаг, равный ширине кассеты. Рычаги дна кассеты и рычаги разъема кассеты при этом поворачиваются, и толкатель выталкивает выращенную культуру из кассеты на первую ступень дробления. После разгрузки растильная камера движется по рельсовому пути на узел мойки, где производится ее механическая очистка сильной струей воды, и поступает в стерилизатор камер, представляющий собой горизонтальный цилиндр с двумя противоположно открывающимися крышками. Крышки герметизированы с помощью гидрозажимов.

После стерилизации растильная камера охлаждается, подсушивается стерильным воздухом и автоматически подается на стол загрузки, после чего технологический цикл повторяется.

Механизированная технологическая линия повышает технический уровень и культуру производства, снижает споро- и пылевыведение. Однако она занимает большие площади для установления транспортных систем и растильных камер, металло- и энергоемка и малопродуктивна.

8.4. УСТАНОВКИ ДЛЯ СТАТИКО-ДИНАМИЧЕСКОГО ВЫРАЩИВАНИЯ КУЛЬТУР

Для условий крупнотоннажного производства единичная мощность оборудования должна быть значительно увеличена. Кроме того, необходимо создавать стационарные установки с целью обеспечения герметизации всех технологических операций, снижения удельных площадей и объемов.

Метод статико-динамического поверхностного выращивания культур грибов заключается в том, что среда некоторое заданное время находится в неподвижном (статическом) состоянии, а затем периодически подвергается принудительному движению, разрыхлению и перемешиванию (динамические условия). При этом способе необходимость применения кювет полностью отпадает.

Стерильная питательная среда, смешанная с посевной культурой, загружается на первую полку ленты секционной камеры выращивания. В камеру подается воздух, предварительно смешанный с насыщенным водяным паром или кондиционированный. Количество воздуха и водяного пара устанавливается с таким расчетом, чтобы в статической зоне температура подаваемой паровоздушной смеси равнялась 32—35 °С, а относительная влажность — 96—98 %. Длительность выдерживания засеянной среды на полке устанавливается в зависимости от числа полок в камере. При этом общая длительность пребывания растущей культуры на всех полках должна быть равна длительности процесса выращивания культуры (от 24 до 48 ч). Через равные промежутки времени продукт механически пересыпается с полки на полку. Верхние полки используются для первой фазы выращивания, средние — для второй и нижние — для третьей. Таким образом, засеянная питательная среда, пересыпаясь с полки на полку, проходит все этапы роста.

Загрузка новых порций питательной среды на верхнюю полку камеры проводится с интервалом, равным длительности пребывания среды на каждой полке камеры. Такой способ позволяет максимально использовать полезный объем камеры, интенсифицировать процесс и облегчить условия труда. При пересыпании с полки на полку среда разрыхляется, что интенсифицирует процессы аэрирования, отвода газообразных продуктов метаболизма и получения культуры высокой активности. Улучшаются также условия теплообмена, что позволяет уменьшить расход воздуха для отвода физиологического тепла, выделяемого культурой.

Выращивание культур микроорганизмов статико-динамическим способом возможно осуществлять в установках полочного, ленточного и других типов.

Растильная установка типа ВИС-42-Д. Внутреннее устройство установки аналогично конструкции сушилки типа ВИС-42-Д и включает все ее вспомогательные элементы: калориферы, вентиляторы, циклоны и воздухопроводы, а также устройства для опрокидывания полок камеры и герметизации загрузки среды на первую полку.

Шахтная непрерывнодействующая автоматическая сушилка ВИС-42-Д состоит из камеры, двух калориферов, трех вентиляторов и трех циклонов (см. рис. 13.8).

Камера имеет металлический корпус, обшитый листовым железом, и покрыта слоем теплоизоляции. Внутри камеры через каждые 120 мм по высоте расположены 20 горизонтальных подвижных полок, размеры которых в соответствии с габаритами камеры равны 2000 × 1100 мм. Каждая горизонтальная полка состоит из 16 отдельных пластин размерами 120 × 60 мм, которые автоматически поворачиваются на угол 90°, пересыпая среду, и затем возвращаются в исходное горизонтальное положение. Внутренними перегородками камера разделена на три части, что позволяет рационально распределять воздух по зонам. В первой боковой верхней части камеры (первой зоне) расположены 6, во второй (средней) — 8 и в третьей (нижней) — 6 полок. В передней боковой части камеры расположены 3 дверцы, к которым имеется свободный доступ, а к задней боковой части подведены воздухопроводы подачи воздуха от двух вентиляторов и калориферов и выхода отработавшего воздуха к третьему вытяжному вентилятору и циклонам.

С целью приспособления сушилки для выращивания культур плесневых грибов воздух засасывается по воздухопроводу, установленному выше конька крыши на 4—5 м, фильтруется через фильтр грубой очистки, бактериальный фильтр и смешивается в воздуховоде с насыщенным паром до заданных технологических параметров (температура 32—33 °С и относительная влажность 96—98 %). Для очистки выходящего воздуха также используются фильтры бактериальной очистки. Во время стерилизации сушилки этот фильтр отключен. Во всех трех зонах камеры на входе и выходе воздуха устанавливаются термозаписывающие приборы контроля температуры и влажности воздуха и среды.

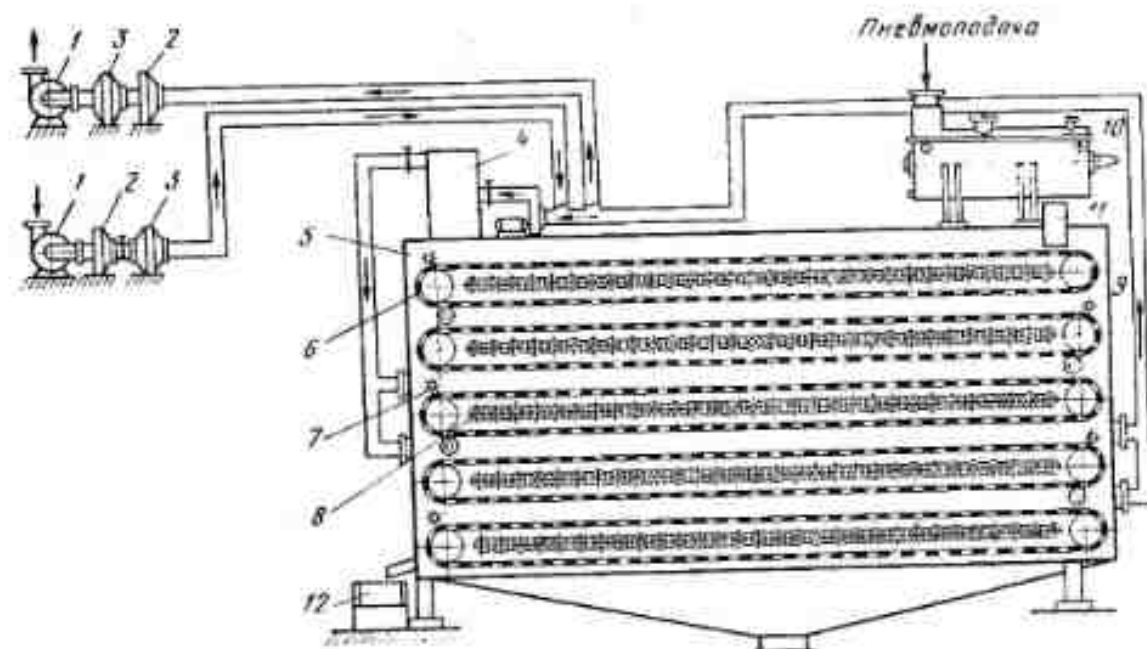


Рис. 8.3. Растильная ленточно-конвейерная установка типа 4Г-КСК:
1 — вентилятор; 2 — фильтр Река; 3 — бактериальный фильтр; 4 — кондиционер;
5 — растильная камера; 6 — сетчатая лента; 7 — разрыхлители; 8 — калориферы; 9 —
воздуховод для отсоса воздуха; 10 — стерилизатор; 11 — тачка; 12 — транспортер

Загрузка стерильной питательной среды на верхнюю полку камеры герметизирована. Среда транспортной лентой или кареткой распределяется по полке.

Во второй и третьей зонах устанавливается температура 27—29 °С.

Таким образом, за время перемещения засеянной среды по всем полкам заканчиваются рост культуры гриба и накопление ферментов. С нижней полки выходит выращенная культура гриба, которая поступает в приемный бункер, а затем на дробление и сушку. На нижнюю полку камеры поступает 24—27 кг среды в пересчете на сухие отруби, и за сутки можно вырастить до 300 кг культуры гриба.

На 1 м³ камеры ВИС-42-Д можно загрузить 41 кг воздушно-сухих отрубей вместо 9—10 кг, как это имеет место при выращивании в растильных камерах. Соответственно удельный объем культуры гриба с 1 м² площади камеры увеличивается от 12 до 61 кг/сут.

По окончании выращивания камеру установки моют горячей водой и стерилизуют в течение 2 ч воздухом, нагретым до 120—130 °С.

Конвейерная растильная установка типа 4Г-КСК. Устройство паровых конвейерных сушилок КСК, как и сушилок ВИС, позволяет без существенных конструктивных изменений приспособить их для периодического или непрерывного поверхностного выращивания грибных культур.

Установка типа КСК (рис. 8.3) представляет собой металлический шкаф, внутри которого расположены 4—5 ветвей лент сетчатой

того транспортера, выполненных из нержавеющей стали с ячейками $2 \times 1,5$ мм и натянутых на два барабана. Размеры транспортерных лент зависят от типа сушилки. Каждая лента имеет либо индивидуальный, либо общий привод с вариатором скорости, который изменяет скорость ленты от 0,14 до 1,0 м/мин.

Над транспортерными лентами устанавливают уравнильные планки, позволяющие распределить питательную среду ровным слоем высотой от 30 до 100 мм. Для разрыхления среды над верхними лентами установлены валы с лопастями в виде игл, вращающиеся в направлении движения лент. Разрыхление производят при перегрузке среды с верхней ленты на нижнюю. Под холостыми ветвями транспортерных лент расположены очистители — валы с лопастями, к которым прикреплены резиновые полосы, вращающиеся противоположно движению лент. В пространстве между ветвями транспортерных лент установлены паровые калориферы.

Горячая вода для каждого яруса калориферов первой и второй зон выращивания готовится в специальных баках, которые должны быть снабжены приборами для регулирования и контроля температуры. Температура воды, подаваемой в калориферы под первой (верхней) и второй ветвями лент, должна быть $35-40^\circ\text{C}$, под третьей и четвертой — $26-30^\circ\text{C}$. Калориферы пятой ветви лент могут обогреваться отработавшей горячей водой из верхних ярусов. Калориферы также имеют штуцера для подвода пара, необходимого для нагрева установки при мойке, сушке и стерилизации. В растильной камере образуются три зоны: верхняя (первая) зона с температурой среды $32-35^\circ\text{C}$, средняя (вторая) зона с температурой 30°C , где осуществляется отвод физиологического тепла, выделяемого культурой, и нижняя (третья) зона с температурой до 28°C .

Установка должна быть полностью герметизирована и смонтирована в обособленном герметичном и стерильном помещении. Над установкой монтируют вытяжной зонт с вытяжной трубой высотой 5—10 м для подачи и удаления воздуха. На подающей и вытяжной линиях воздуха устанавливают фильтры для бактериальной очистки воздуха.

Стерильная питательная среда подается на верхнюю ленту наклонным герметически закрывающимся транспортером либо самотеком из стерилизатора, размещенного над растильной установкой. Количество воздуха составляет до 1000 м^3 на 1 т культуры гриба. После загрузки засеянной питательной среды на верхнюю ветвь транспортера привод ленты выключается и среда выдерживается в течение 9 ч. Затем она транспортируется на следующую ветвь ленты при одновременном разрыхлении массы и также выдерживается 9 ч. В это время на верхнюю ветвь подается новая порция среды. Таким образом, каждые 9 ч среда перегружается на нижележащую ветвь транспортера и через 36 ч выгружается в виде готовой культуры гриба.

По окончании цикла выращивания растильный агрегат моют горячей водой и стерилизуют горячим воздухом при температуре

$120-130^\circ\text{C}$ в течение 2—3 ч, после чего технологический цикл повторяется.

При высоте слоя среды 50 мм на одну ветвь транспортера сушилки 4Г-КСК-90 можно загрузить 600—700 кг питательной среды (270—300 кг в пересчете на воздушно-сухие отруби).

8.5. ВИБРАЦИОННЫЕ РАСТИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

В промышленности используются установки, основанные на динамическом методе выращивания культур грибов в непрерывно движущемся вибрационном слое. Сущность способа заключается в том, что стерильную питательную среду, смешанную с посевной культурой, в процессе выращивания подвергают вибрационным колебаниям с одновременным перемещением в непрерывном потоке. Под действием высокочастотных колебаний в пределах 10—17,5 Гц питательная среда, находящаяся на транспортируемом органе, приобретает специфические свойства: становится более подвижной, уменьшается коэффициент внутреннего трения, и снижается сопротивление перемещению. Колебательные импульсы передаются слою транспортируемой среды, и она переходит во взвешенное состояние.

Режим вибрационного транспортирования характеризуется непрерывным обновлением поверхностного слоя: часть пути среда совершает в контакте с поверхностью грузонесущего органа, затем отделяется от нее, а через некоторое время снова падает. В результате среда интенсивно перемешивается. Каждая частица среды находится в непрерывном движении в течение 36 ч, при этом интенсивно взвешиваются отдельные мельчайшие частицы среды, что в тысячи раз увеличивает активную поверхность среды по сравнению со статическим кюветным способом выращивания.

Физиологическое тепло, выделяемое культурой в процессе активного роста, отводится водой, в результате чего расход кондиционированного воздуха сокращается с 20 000 до 500 м^3 на 1 т культуры.

Применение вибрации позволяет интенсифицировать процессы массо- и теплообмена и микробиологического синтеза, механизировать все технологические операции, повысить активность культуры и организовать высокоэффективный процесс.

Вибрационная установка может быть как горизонтальной, так и вертикальной.

Вибрационная установка винтового типа непрерывного действия производительностью 3,5 т/сут (рис. 8.4) состоит из вибростерилизатора и четырех последовательно соединенных герметизированных вертикальных вибрационных конвейеров лоткового типа 7. Собственно растильной частью установки являются первые три конвейера, составляющие соответственно первую, вторую и третью зоны роста; четвертый предназначен для сушки культуры. Каждый виброконвейер снабжен индивидуальным приводом с дебалансовыми вибраторами.

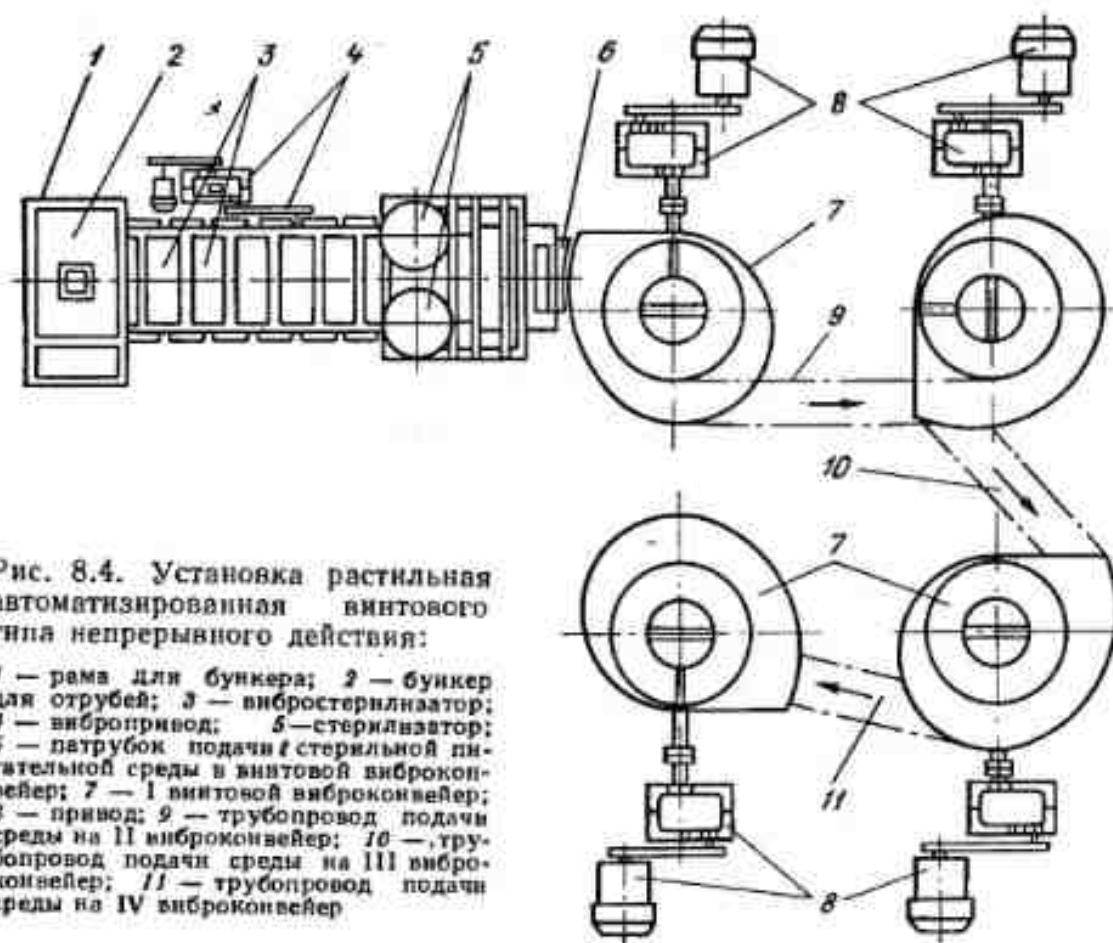


Рис. 8.4. Установка растительная автоматизированная винтового типа непрерывного действия:

1 — рама для бункера; 2 — бункер для отрубей; 3 — вибростерилизатор; 4 — вибропривод; 5 — стерилизатор; 6 — патрубок подачи стерильной питательной среды в винтовой виброконвейер; 7 — I винтовой виброконвейер; 8 — привод; 9 — трубопровод подачи среды на II виброконвейер; 10 — трубопровод подачи среды на III виброконвейер; 11 — трубопровод подачи среды на IV виброконвейер

Стерильная засеянная питательная среда из вибростерилизатора 3 поступает в приемный лоток 6 первого виброконвейера и под влиянием виброимпульсов, сообщаемых желобу, перемещается снизу вверх. Из верхнего лотка первого виброконвейера среда по трубе поступает в нижний приемный лоток второго виброконвейера. Конструктивно второй виброконвейер отличается от первого только тем, что лотки его снабжены водяной рубашкой для отвода тепла, выделяемого в период активного роста культуры. Для отвода продуктов жизнедеятельности микроорганизмов во второй виброконвейер подается кондиционированный воздух. Из верхнего лотка второго виброконвейера среда поступает по трубе в нижний приемный лоток третьего виброконвейера, устройство которого аналогично первому.

Скорость движения среды по лоткам виброконвейеров составляет 2—3 мм/с, а диаметр и число витков всех виброконвейеров рассчитаны так, чтобы среда находилась в непрерывном движении в течение всего процесса роста. Из верхнего лотка третьего виброконвейера выращенная культура гриба по трубе поступает в нижний приемный лоток четвертого конвейера на сушку. Устройство этого виброконвейера идентично второму, но в рубашку лотков подают воду температурой 70 °С и дополнительно подводится воздух температурой 70—80 °С. Выращенная и высушенная культура

гриба выгружается, а воздух после бактериальной очистки удаляется.

Техническая характеристика вибрационной растительной установки винтового типа

Производительность по готовой культуре, т/сут (при продолжительности роста 36 ч)	3,5
Угол подъема винтового лотка (по среднему диаметру)	5°40'
Шаг лотка, мм	219,2
Диаметр желоба, мм	2000
наружный	1000
внутренний	1500
средний	500
Ширина лотка, мм	120
Высота лотка, мм	От 5 до 26
Частота колебаний, Гц	5
Амплитуда колебаний, мм	87°1'; 89°30'
Угол направления колебаний	28—40
Мощность электродвигателя, кВт	5100×8000×7200
Габаритные размеры, мм	16 000
Масса, кг	

Стерильный кондиционированный воздух, необходимый для аэрации в количестве 500—1800 м³ на 1 т культуры, подается кондиционером.

8.6. УСТАНОВКИ КОЛОННОГО ТИПА

Аппарат для выращивания микроорганизмов конструкции ВНИИбиотехники. На основании теоретических положений и многочисленных экспериментов, проведенных во ВНИИбиотехнике, разработаны новый метод и установка для культивирования микроорганизмов на твердых питательных средах.

Колонный аппарат для выращивания микроорганизмов (рис. 8.5) представляет собой вертикальный корпус 15, разделенный на шесть секций с радиально установленными на полом вала 13 лопастями с соплами 6 для подвода воздуха и перфорированными пластинами 16, укрепленными консольно на поворотных осях 2. Аппарат имеет охлаждающий змеевик 5, коллектор для подвода стерильного воздуха 4 и коллектор для отвода отработавшего газа 7. В верхней части емкости имеется загрузочный люк 14, а в нижней части — люк для выгрузки выросшей культуры 1. Средняя часть емкости, где происходит активный рост микроорганизмов с выделением тепла, снабжена охлаждающей рубашкой 17. Вращение вала 13 осуществляется от привода через шестерню 12.

Засеянная стерильная среда загружается через люк 14 в предварительно простерилизованный аппарат. Лопастями 6, установленными на валу по высоте аппарата, среда равномерно распределяется по площади перфорированных пластин 16 первой секции аппарата.

По окончании первой фазы процесса (через 6 ч) перфорированные пластины, на которых находится среда, переводятся в верти-

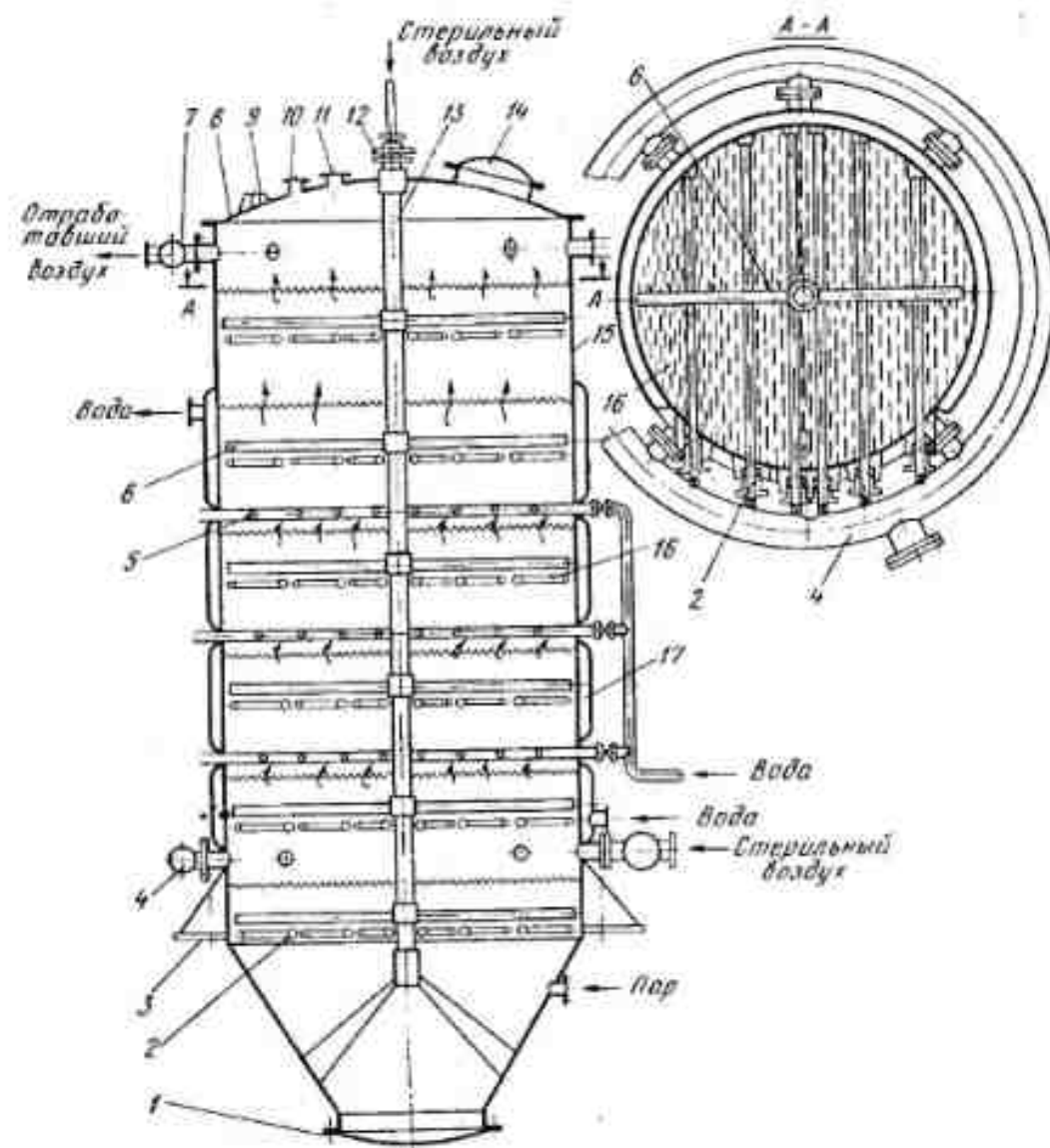


Рис. 8.5. Аппарат для выращивания микроорганизмов в слое среды высотой 300 мм:

1 — люк для выгрузки; 2 — поворотные оси; 3 — опора; 4 — коллектор подвода стерильного воздуха; 5 — охлаждающие змеевики; 6 — лопасть вала; 7 — коллектор отвода отработавшего воздуха; 8 — крышка; 9 — штуцер для манометра; 10 — штуцер; 11 — воздушник; 12 — шестерня привода вала; 13 — вал; 14 — люк для загрузки; 15 — корпус; 16 — перфорированные пластины; 17 — рубашка

кальное положение. Среда сбрасывается во вторую секцию и лопастями распределяется ровным слоем на поверхности перфорированных пластин. В освободившуюся первую секцию загружается новая порция среды. Через 6 ч среда из второй секции сбрасывается в третью, а из первой — во вторую. Первая секция вновь заполняется. Таким образом заполняются все шесть секций аппарата. Через 36 ч после загрузки среды в первую секцию культуру из нижнего отделения выгружают и направляют на дальнейшую переработку. Процесс идет непрерывно.

В ходе культивирования в аппарат подают воздух, необходимый для дыхания микроорганизмов. Отвод биологического тепла, вы-

деляемого культурой, осуществляют водой, подаваемой в змеевики 5 и рубашку 17. Подвод тепла в верхнюю секцию к свежезагруженной среде осуществляется путем продувания через слой теплого воздуха, нагретого в нижележащей секции. При необходимости через вал 13 и лопасти 6 в аппарат подают стерильный воздух для турбулизации потока. Аппарат стерилизуют при давлении 0,3 МПа в течение 1,5—2 ч.

При выращивании культур в закрытом герметичном аппарате и аэрировании через перфорированные пластины поток газа в среде обусловлен перепадом давления и пористой структурой питательной среды. Движение газа в этом случае происходит не вдоль поверхности слоя среды, а распространяется на весь объем, в результате чего образуется режим объемной аэрации, способный обеспечить конвективный и диффузионный тепло- и массообмен по всей высоте растущей культуры.

Применение метода объемной аэрации питательной среды позволяет в 10 и более раз увеличить высоту слоя растущей культуры и создает условия для применения аппаратуры, используемой при глубинном культивировании. Увеличение высоты слоя среды с 25—40 до 300—500 мм является одним из основных направлений повышения производительности технологического оборудования. В отличие от приведенных выше типов растительных установок все технологические процессы и операции механизированы, что исключает контакт обслуживающего персонала с растущей культурой и продуктами их метаболизма. В процессе выращивания регулируемые параметры являются температура, влажность среды и воздуха, частота вращения мешалки, содержание CO_2 и O_2 в газовой фазе.

Механизированная установка для получения посевной культуры. Механизированная установка для стерилизации среды, дозирования, выращивания, сушки, отделения конидий и стерильной фасовки посевного материала (рис. 8.6) состоит из стерилизаторов среды и воды, смесителя, совмещенного аппарата для выращивания и сушки, отделителя и осадителя конидий, устройства для стерильной фасовки культуры и конидий.

Компоненты питательной среды из смесителя подаются механическими транспортерами в стерилизатор вертикального типа, снабженный перемешивающим устройством и паровой рубашкой. Для стерилизации среды внутрь стерилизатора и в рубашку подают пар. Стерильная охлажденная вода поступает в стерилизатор питательной среды для ее охлаждения и доувлажнения.

Стерилизатор среды устанавливается над аппаратом, в котором происходит выращивание, и по герметичному стерильному трубопроводу в предварительно простерилизованный выращиватель-сушилку поступает охлажденная до 40 °С питательная среда. Доувлажнение и засев среды водной взвесью конидий, приготовленной в специальном смесителе с мешалкой лопастного типа, проводятся через коллектор, встроенный в аппарат по стерильному трубопроводу.

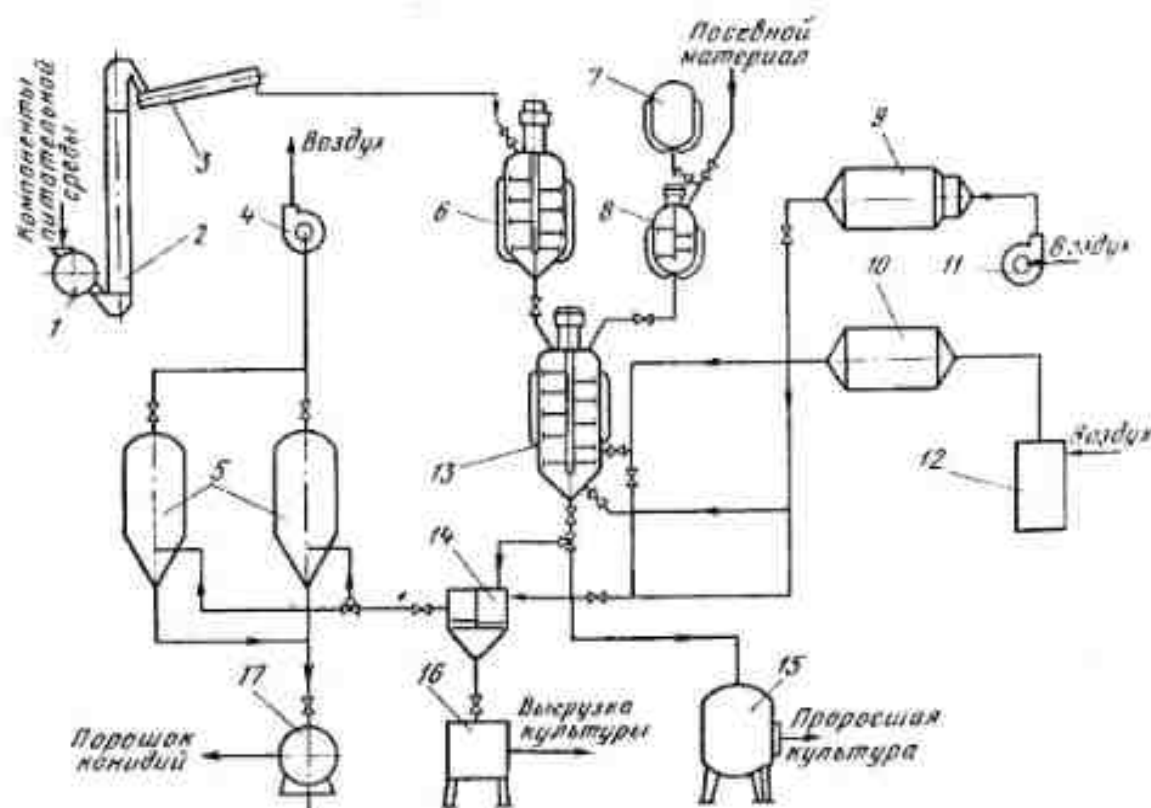


Рис. 8.6. Механизированная установка для получения посевной культуры
1 — смеситель; 2 — норка; 3 — шнековая питатель; 4 — вентилятор; 5 — осадитель конидий; 6 — стерилизатор питательной среды; 7 — стерилизатор воды; 8 — смеситель; 9 — блок подготовки воздуха; 10 — фильтр бактериальной очистки; 11 — вентиляционная установка; 12 — компрессор; 13 — выращиватель-сушилка; 14 — отделитель конидий; 15 — сборник культуры; 16 — устройство для фасовки культуры; 17 — устройство для фасовки конидий

Выращиватель-сушилка представляет собой аппарат вертикального типа, верхняя часть которого предназначена для выращивания, а нижняя — для сушки. В верхней части расположены перфорированные сегменты, образующие полку, на которую загружается слой стерильной питательной среды высотой 500 мм. Аппарат снабжен рубашкой и внутренним перемешивающим устройством для периодического перемешивания и поддержания температуры. Под перфорированные сегменты подается стерильный воздух для аэрирования. Выращивание культуры длится 6—7 сут. Конструкция лопастей перемешивающего устройства и интенсивность перемешивания предотвращают образование воздушных каналов в питательной среде. В аппарате поддерживается давление до 0,1 МПа. Блок подготовки воздуха состоит из фильтров грубой и бактериальной очистки.

Выращенная посевная культура через встроенный в решетку барабанный дозатор выгружается в сушильную часть аппарата, внутри которой расположена перфорированная решетка. Измельчение культуры проводится лопастной мешалкой и неподвижными перемычками с одновременной сушкой нагретым до 60 °С стерильным воздухом, предварительно прошедшим полную систему очистки.

Таким образом в одном аппарате совмещается несколько процессов и операций в стерильных условиях.

Выращенная и высушенная культура по стерильным трубопроводам поступает в отделитель и осадитель конидий. В отделителе конидий перемешивающее устройство лопастного типа подгребают культуру к измельчающим неподвижно установленным перемычкам. Измельченная культура приводится потоком воздуха в псевдооживленное состояние. Конидии и мелкие частицы культуры, уносимые воздухом, поступают в осадитель. Культура выгружается через окно в коническую часть аппарата и по стерильному трубопроводу поступает на стерильную фасовку. В осадителе конидии отделяются от воздуха, который проходит через систему рукавных фильтров для более полного отделения конидий и очистки.

Отделенные конидии также поступают на стерильную фасовку. Фасовочное устройство представляет собой горизонтальный цилиндрический аппарат, внутри которого смонтированы цепной конвейер, дозатор и устройство для закатки. Управление механизмами осуществляется через рукава манипулятора из аппретированной стеклоткани. До стерилизации аппарата в кассеты, установленные на конвейере, загружается стерильная тара, необходимая для фасовки, аппарат герметизируется, стерилизуется и охлаждается, после чего фасовка продукта производится вручную через дозатор. Тара с фасованной культурой герметично закрывается, накапливается в отсеке-накопителе и по окончании фасовки выгружается.

Установка является, по существу, технологической линией механизированного получения посевного материала и пригодна для централизованного снабжения многих предприятий. Установка снабжена системой средств автоматизации и контроля основных параметров процесса.

Техническая характеристика установки

Производительность за цикл по сухой массе культуры, кг	90
Расход воздуха, м³/ч	
на выращивание	270
» сушку	1060
» осаждение конидий	485
Мощность электродвигателей, кВт	44
Габаритные размеры, мм	6060×4440×10 625]
Масса, кг	2140

Установка для непрерывного выращивания грибных культур.

Данная установка обеспечивает перемешивание и разрыхление всей толщи среды в процессе выращивания, предотвращения высыхания верхних слоев, а также интенсификацию процесса.

Установка для непрерывного выращивания культуры грибов (рис. 8.7) состоит из бункера среды 1, сборника для приготовления посевного материала 6, стерилизатора 2, устройства для охлаждения и увлажнения среды 3, устройства для посева культуры 4 и аппарата для выращивания 5.

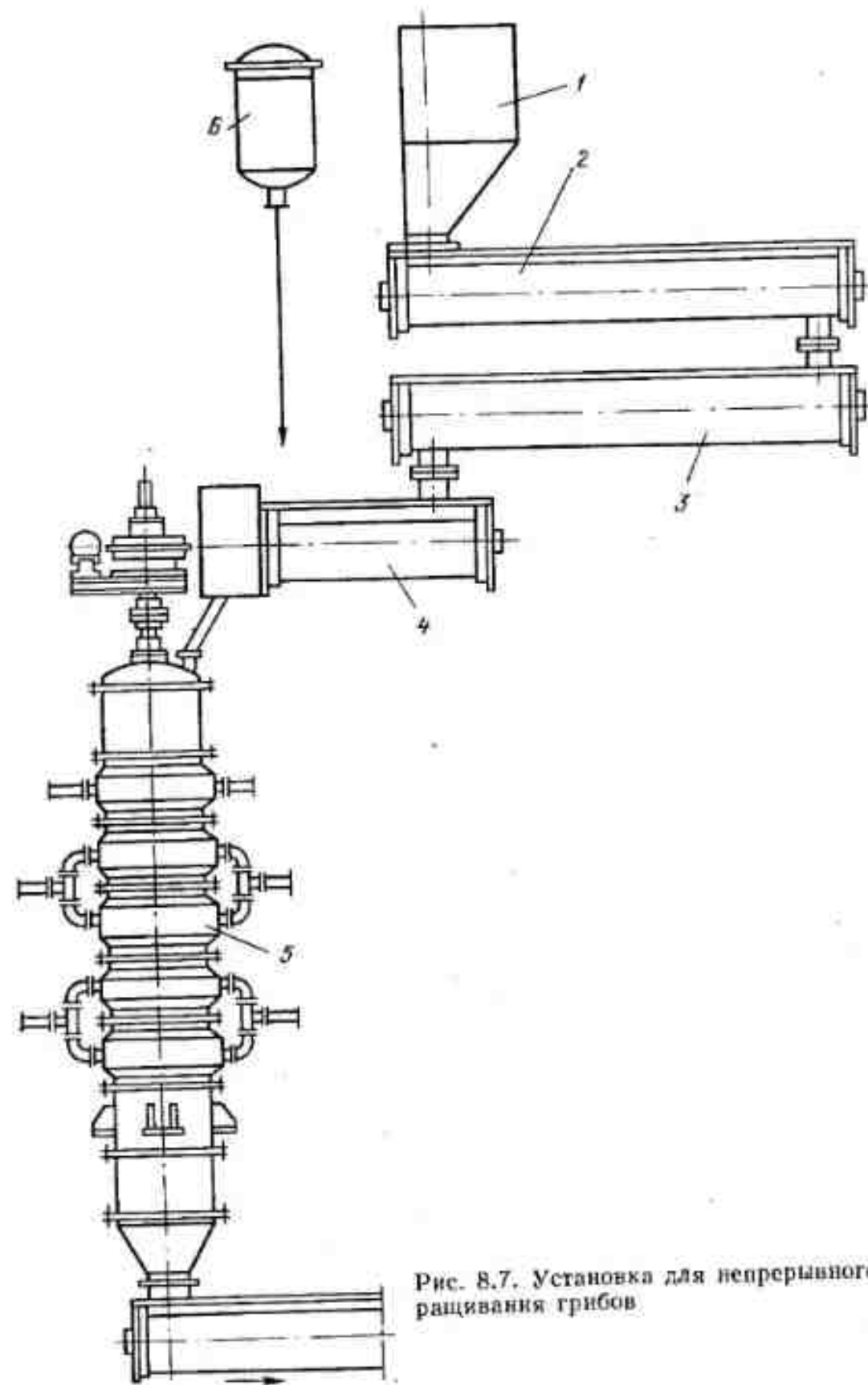


Рис. 8.7. Установка для непрерывного выращивания грибов

Рис. 8.8. Аппарат для выращивания микроорганизмов

Аппарат для выращивания (рис. 8.8) выполнен в виде секционной колонны, составленной из царг, со сферической крышкой 1 и коническим днищем 6 с подпятником. В центральной части колонны установлены шнек 3 и вал, витки которого выполнены полыми. Витки, кроме того, являются прерывистыми и в промежутках между ними установлены контрпальцы 4 для измельчения выращенной культуры.

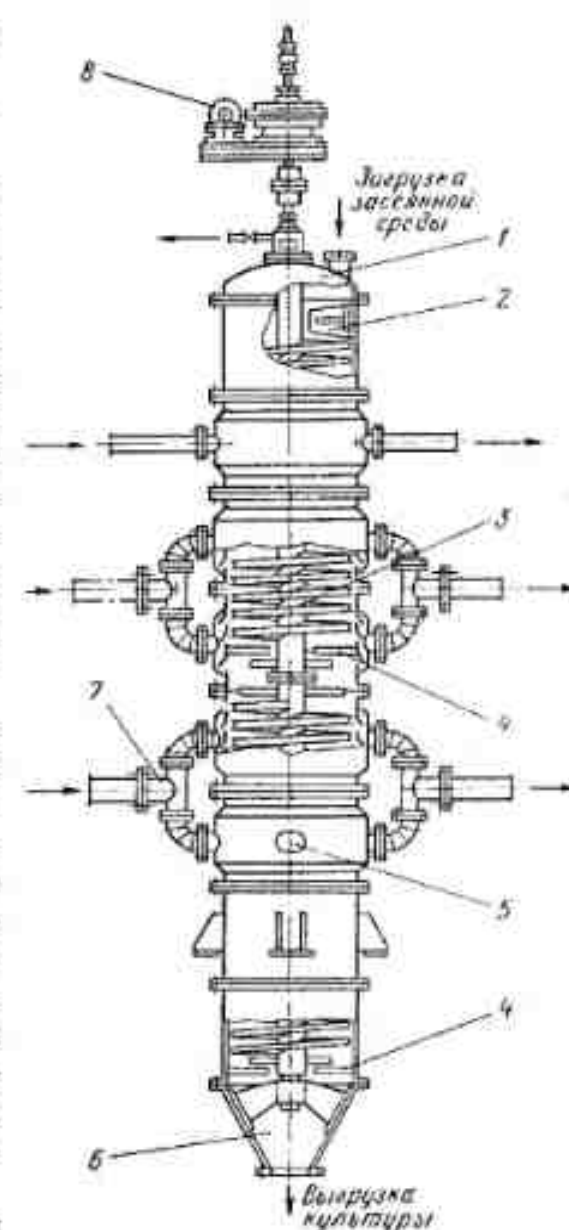
Верхняя царга снабжена контрплитой 2 для направления движения среды к шнеку 3. Средние царги выполнены двустенными, причем внутренние стенки перфорированы, а наружные снабжены люками 5 и штуцерами 7 для подвода воздуха. Царги соединяются при помощи фланцев. Привод шнека осуществляется через редуктор 8, установленный над крышкой колонны.

Во время работы установки в верхнюю царгу аппарата поступает засеянная культурой грибов стерильная среда. Контрплита предотвращает вращение среды и направляет ее к шнеку, верхний виток которого несколько расширен. В верхней зоне колонны среда находится 12 ч.

Из первой зоны среда поступает во вторую, где происходит активный рост культуры с выделением тепла. Отвод тепла от культуры осуществляется через поверхность шнека, для чего в полый вал и витки подают хладагент.

В процессе роста культуры среда несколько раз перемешивается контрпальцами и аэрируется стерильным кондиционированным воздухом, поступающим через перфорированные внутренние стенки средних царг. Продолжительность процесса выращивания во второй зоне составляет 14 ч.

Выращенная культура поступает в нижнюю часть колонны, в которой происходит накопление белка и ферментов. Этот процесс длится 8—12 ч. Затем культуральная масса измельчается контр-



пальцами и направляется на следующую технологическую операцию. Скорость движения культуральной массы внутри колонны определяется временем выращивания культуры.

Аппарат для выращивания микроорганизмов пластинчатого типа. Данный аппарат (рис. 8.9) представляет собой цилиндрический сосуд 4, разделенный перфорированными пластинами 8 на секции 6, 9, 10. Перфорированные пластины укреплены на поворотных осях 7. В каждой секции имеется перемешивающее устройство, укрепленное на приводном полом валу 3. Перемешивающее устройство выполнено в виде укрепленных на направляющих 15 систем ножей 14 и 13, установленных в горизонтальных и вертикальных плоскостях. Горизонтально расположенные нижние ножи 14 выполнены полыми и имеют отверстия, а верхние горизонтально расположенные ножи укреплены на направляющих с возможностью регулирования по высоте, для чего на направляющих имеются пазы. Ножи крепятся болтами. Вертикально расположенные ножи 13 установлены на направляющих осях 12 свободно с целью их поворота до соприкосновения со стенкой аппарата.

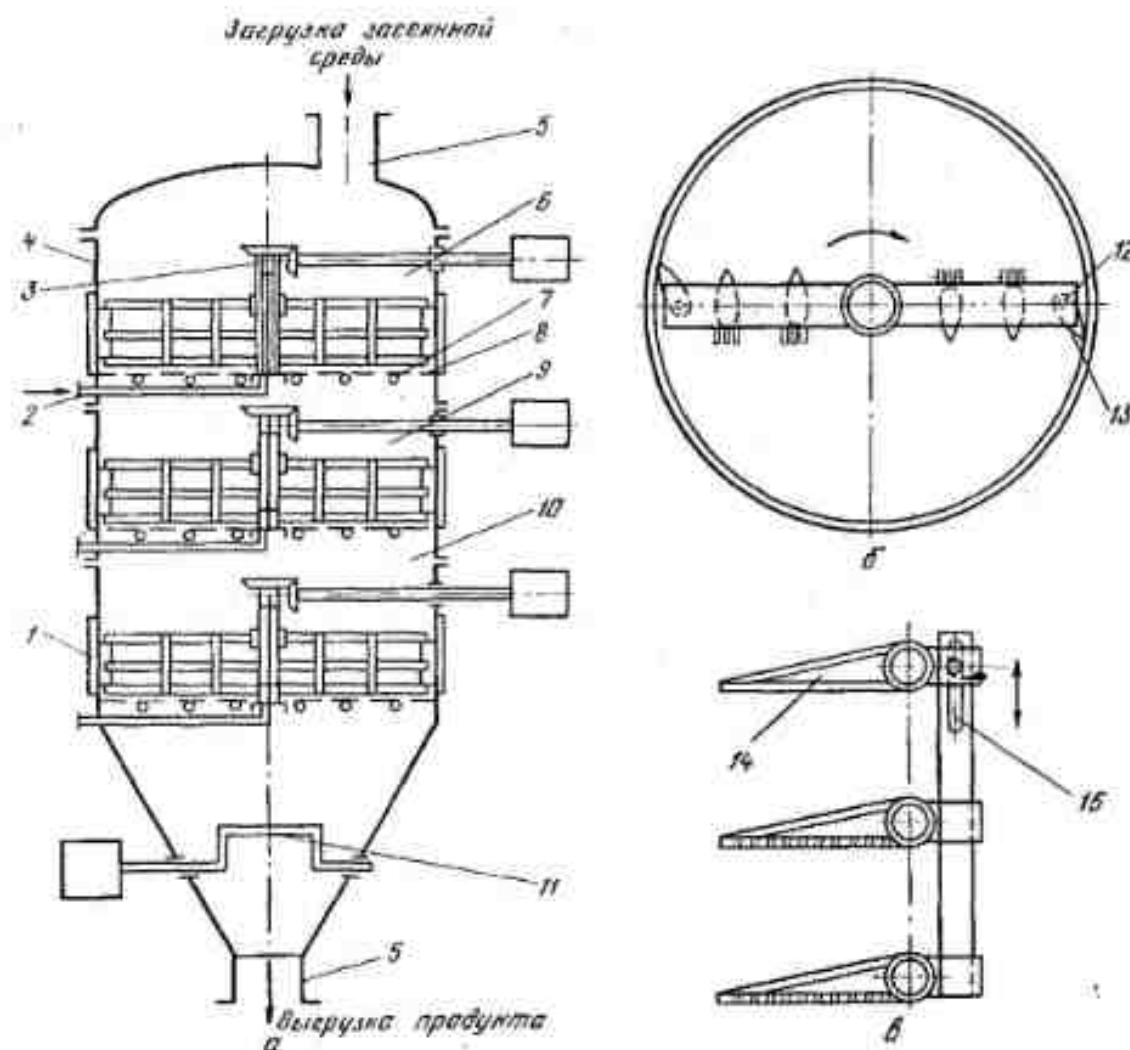


Рис. 8.9. Аппарат для выращивания микроорганизмов:
а — общий вид; б — перемешивающее устройство; в — вертикальный разрез

В нижней конической части емкости установлен ворошитель 11 в виде лопастной мешалки, укрепленной на горизонтальном валу. Емкость снабжена теплообменными рубашками 1, люками 5 для загрузки засеянной питательной среды и вывода готового продукта.

Засеянную стерильную питательную среду подают в верхнюю (первую) секцию аппарата через люк 5 и включают привод перемешивающего устройства. При этом среда равномерно перемешивается и распределяется по площади перфорированных пластин 8. При вращении перемешивающего устройства вертикально расположенные ножи под воздействием сопротивления среды отжимаются к стенке аппарата и снимают прилипшую к ним среду. По окончании первой фазы культивирования растущая культура поворотом пластин 8 сбрасывается во вторую секцию и распределяется перемешивающим устройством на поверхности перфорированных пластин. Таким же образом заполняются остальные секции аппарата. Через 36—48 ч после начала работы аппарата готовую культуру через коническую часть емкости ворошителем 12 выгружают из аппарата.

В процессе выращивания в аппарат через штуцер 2 под каждую секцию подается воздух для отвода тепла и подвода кислорода. В каждой секции периодически осуществляется перемешивание растущей культуры, причем интенсивность перемешивания выбирается оптимальной для данной стадии роста.

Возможность менять высоту расположения верхнего горизонтального ножа делает конструкцию аппарата гибкой и позволяет увеличивать его производительность по сравнению с аппаратами других типов.

8.7. РАСТИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ БАРАБАННОГО ТИПА

Механизированная растильная установка фирмы «Валерштейн» (США). Установка представляет собой горизонтальный аппарат барабанного типа диаметром 2100 и длиной 5200 мм. На его поверхности расположены опорные бандажи, ведомая шестерня и люки для загрузки и выгрузки (рис. 8.10).

Опорные бандажи 5 установлены на катки фундамента. Ведомая шестерня приводится в движение от привода, состоящего из двухступенчатого редуктора и двухскоростного электродвигателя мощностью 15 кВт с частотой вращения вала 900—1800 мин⁻¹.

В эллиптических днищах расположены герметичные вводы воздуха и воды. Воздух в количестве 2000 м³/ч подается вентилятором 14 через диффузор 9, обеспечивающий распределение потока по периметру барабана. Система аэрации замкнута трубопроводом 8 и циклоном 7 для очистки воздуха и отделения пыли. Внутри корпуса 1 расположена рама для распределения среды.

В стерильный барабан загружают засеянную стерильную питательную среду в количестве 2000 кг, посевной материал и при

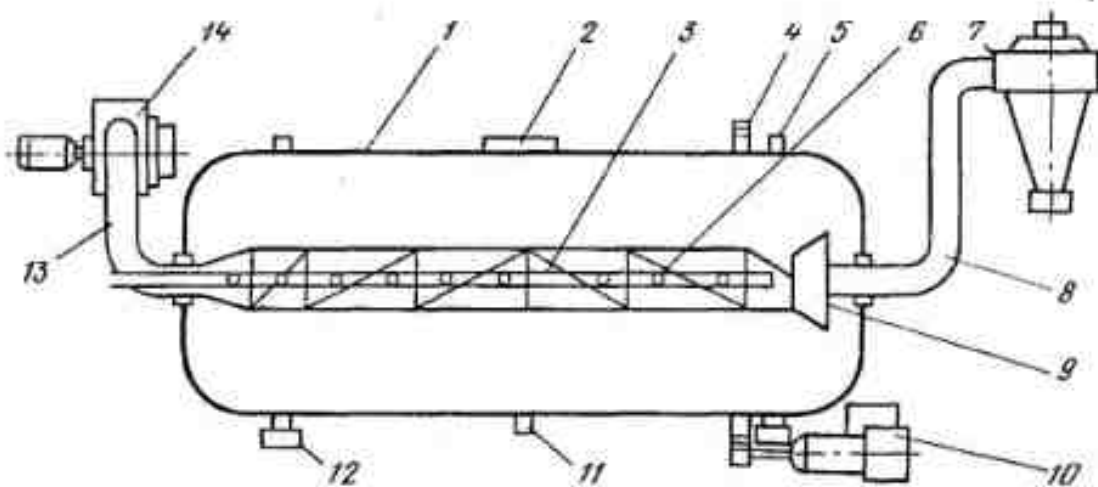


Рис. 8.10. Установка для выращивания культур грибов барабанного типа фирмы «Валерштейн» (США):

1 — корпус; 2 — люк; 3 — коллектор; 4 — зубчатое колесо; 5 — бандаж; 6 — рычаг; 7 — циклон; 8 — вывод воздуха; 9 — воздушный диффузор; 10 — привод; 11 — штырь; 12 — опора; 13 — ввод воздуха; 14 — вентилятор

частоте вращения 1 мин^{-1} и аэрировании воздухом с высокой относительной влажностью и заданной регулируемой температурой выращивают культуру.

Вращение барабана способствует перемешиванию среды, что улучшает тепло- и массообмен, благодаря чему толщина слоя среды может быть 200 мм.

Аппарат для выращивания микроорганизмов — продуцентов белка. С целью упрощения конструкции, интенсификации процесса перемешивания и аэрирования среды, а также для улучшения условий выращивания микроорганизмов на стенках барабана устанавливают подпружиненные лопасти. Конец трубы для вывода пара размещен внутри аппарата. Он выполнен разветвленным и одновременно служит для выгрузки выращенной культуры.

Аппарат для выращивания микроорганизмов (рис. 8.11) выполнен в виде вращающегося вокруг горизонтальной оси барабана 1, снабженного загрузочным люком 5 и двумя полыми цапфами 6.

На конце одной из ветвей трубы укреплены штифты, предназначенные для сообщения вибрации лопастей при вращении барабана. Загрузочный люк снабжен фильтрующей тканью (например, тканью Петрянова).

В полостях цапф размещены трубы 7 и 11. Труба 7 служит для поочередной подачи пара, стерильной воды, воздуха, посевной культуры, а труба 11 — для вывода пара и суспензии выращенной культуры.

Питательную среду, например пшеничные отруби, загружают в барабан и приводят его во вращение. После этого через вентиль 9 по трубе 7 вводят пар для стерилизации среды. Процесс стерилизации проводят при давлении пара 0,2–0,3 МПа в течение 60–70 мин. Затем среду охлаждают за счет теплоотдачи через корпус

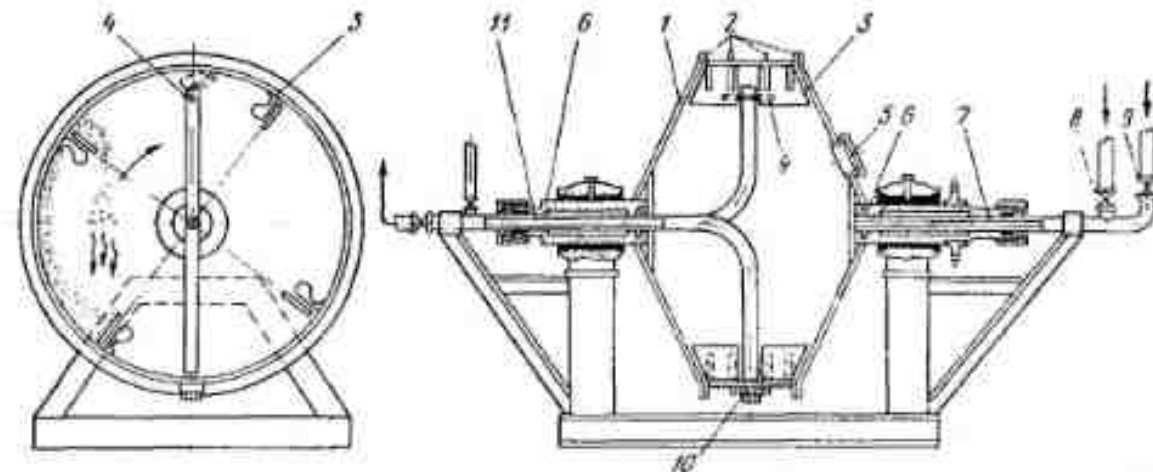


Рис. 8.11. Аппарат для выращивания микроорганизмов — продуцентов белка

и ребра 2 барабана. Для ускорения охлаждения можно применять обдувание холодным воздухом или орошение барабана холодной водой. После охлаждения среды в барабан вводят стерильную воду и суспензию посевной культуры.

Аэрирование культуры осуществляется воздухом, находящимся в барабане, что возможно при загрузке барабана средой из расчета 3–5 кг/м³.

При большей удельной загрузке барабана выращивание ведут при подаче кислорода извне или на режиме самовентиляции барабана.

В последнем случае на люк 5 навешивают кольцо, обтянутое тканью Петрянова. При вращении барабана подпружиненные лопасти 3 ударяются о штифты 4 и вибрируют, создавая волновые колебания воздуха в барабане.

В результате этого происходит подвод свежего воздуха к культуре и отвод газов, выделяющихся в процессе жизнедеятельности микроорганизмов.

После окончания процесса культивирования в барабан через вентиль 8 по трубе 7 вводят стерильную воду из расчета 1 : 15 для суспендирования культуры микроорганизмов. Вывод суспензии осуществляется по трубе 11 путем выдавливания при помощи пара или стерильного воздуха.

После окончания цикла выращивания микроорганизмов — продуцентов белка барабан промывают и стерилизуют паром. Промывные воды выводят через отверстие, закрываемое пробкой 10.

Непрерывная установка для поверхностного выращивания микроорганизмов. Данная установка позволяет интенсифицировать процесс выращивания микроорганизмов путем пульсирующей подачи культуральной среды и воздуха, а также получить экстракт из выращенной культуры.

Данная установка (рис. 8.12) состоит из загрузочного бункера 1, дозатора 2, стерилизатора 3, устройства для охлаждения и увлажнения среды 7 и аппарата для выращивания микроорганизмов. Последний выполнен в виде вращающегося вокруг горизонтальной

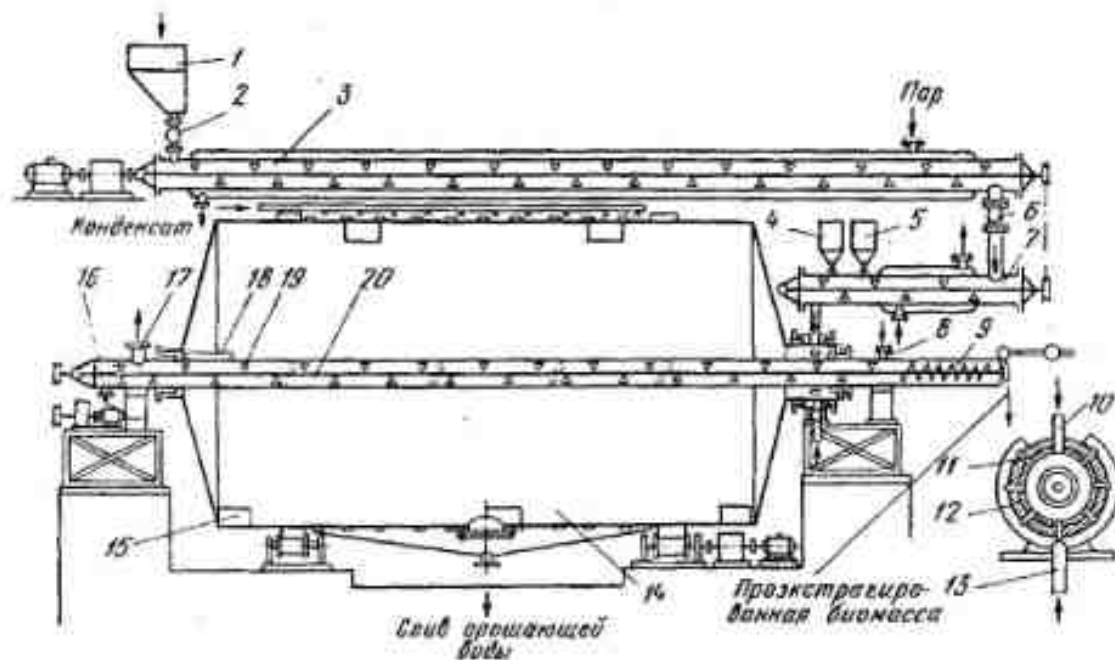


Рис. 8.12. Установка для непрерывного поверхностного выращивания микроорганизмов

оси барабана 14, на внутренней боковой поверхности которого смонтированы лопасти 15. Барабан снабжен устройством для подачи культуральной среды и воздуха и экстрактором 20. Устройство для подачи культуральной среды и воздуха представляет собой цапфу 12 с радиальными прорезями 11, жестко укрепленную на барабане и снабженную диаметрально расположенными патрубками 10 и 13 соответственно для подачи культуральной среды и воздуха.

Экстрактор выполнен в виде полой трубы с установленным внутри нее шнеком 19, на выходном участке которого имеется пресс 9. Экстрактор снабжен патрубками 8, 17 и 16 для ввода растворителя, вывода отработанного воздуха и экстракта выращенной культуры. На патрубке 17 укрепляют фильтрующую ткань (например, ткань Петрянова).

Среда через загрузочный бункер 1 и дозатор непрерывно подается в стерилизатор, где она стерилизуется при заданных параметрах. Стерильная среда через дозатор 6 поступает в устройство 7, где она охлаждается, увлажняется путем подачи стерильной воды из дозатора 5 и засеивается культурой, которая подается из дозатора 4. Засеянная среда через устройство для подачи культуральной среды и воздуха поступает в барабан; подача осуществляется в момент совпадения радиальных прорезей 11 с патрубками 10 и 13. Пульсирующие волновые колебания передаются воздушному объему барабана и находящимся в нем частицам среды, что способствует интенсификации процесса выращивания.

В аппарате для выращивания микроорганизмов культуральная среда перемешивается и перемещается лопастями 15. Скорость перемещения среды вдоль боковой поверхности барабана можно регу-

лировать путем изменения числа оборотов барабана и угла наклона лопастей. Последней лопастью выращенная культура со средой направляется в загрузочное устройство 18 экстрактора, где она шнеком перемещается к выходному участку и отжимается прессом. Навстречу культуральной среде в экстрактор подают растворитель через патрубок 8.

Вывод экстракта производят через патрубок 16, а отработанного воздуха — через патрубок 17 с фильтрующей тканью. При выходе поток воздуха совершает поворот на 180°, благодаря чему увлеченные им частицы взвеси попадают в экстракт культуры. Отвод тепла осуществляют путем орошения наружной поверхности барабана или через рубашку.

Приведенные выше описания устройств растительных установок дают основание сделать заключение, что конструктивные особенности растительных установок колонного типа, снабженные термостатирующими рубашками с внутренними перемешивающими устройствами, а также установки барабанного типа большой единичной мощности, позволяющие вести процесс культивирования в слое высотой от 200 до 1000 мм в герметичных и стерильных условиях, являются наиболее перспективными для крупнотоннажного производства культур и белково-ферментных концентратов на твердых сыпучих средах.

Глава 9. ФЕРМЕНТАТОРЫ ДЛЯ ГЛУБИННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ЖИДКИХ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ

Глубинное культивирование микроорганизмов — продуцентов биологически активных веществ — является наиболее сложным и тонким процессом получения продуктов микробного синтеза. Биосинтез продуцируемых микроорганизмом биологически активных веществ зависит от таких факторов, как температура, pH среды и растущей культуры, концентрация растворенного кислорода, длительность культивирования, конструкция и материал оборудования, в котором происходит процесс, и др. В настоящей главе приведены данные о промышленных ферментаторах, применяемых для глубинного выращивания микроорганизмов.

В зависимости от применяемых методов оценки работы ферментаторы для глубинного выращивания микроорганизмов подразделяют на ряд групп по следующим признакам:

по способу культивирования — на аппараты непрерывного и периодического действия;

по стерильности — на герметичные и не требующие строгой герметичности;

по конструктивным признакам — на ферментаторы с диффузором и турбиной, с вращающимися аэраторами, с механическими мешалками, с наружным циркуляционным контуром, колонные ферментаторы, с эжекционной системой аэрации;

по способу ввода энергии и организации перемешивания и аэрации — на аппараты с подводом энергии к газовой фазе, к жидкой фазе и комбинированные.

В микробиологической промышленности практически все процессы культивирования продуцентов биологически активных веществ, за исключением дрожжей для получения БВК на парафинах, гидролизатах и сульфитных щелоках, проводятся периодическим способом в стерильных условиях.

9.1. ФЕРМЕНТАТОРЫ ДЛЯ СТЕРИЛЬНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

Культивирование большинства микроорганизмов проводится в стерильных условиях. Стерильность процесса обеспечивается путем стерилизации ферментатора, трубопроводов и датчиков приборов КИПиА; подачи в простерилизованный ферментатор стерильной питательной среды и чистой посевной культуры, стерильного воздуха для аэрирования растущей культуры и стерильного химического пеногасителя; установки в ферментаторе стерилизуемых датчиков для контроля и регулирования параметров процесса; поддержания стерильной воздушной или паровой защиты уплот-

Рис. 9.1. Ферментатор с механическим перемешиванием барботажного типа вместимостью 63 м³:

1 — электродвигатель; 2 — редуктор; 3 — муфта; 4 — подшипник; 5 — сальник; 6 — вал; 7 — корпус; 8 — турбинная мешалка; 9 — амсниковый теплообменник; 10 — муфта; 11 — труба для подвода воздуха; 12 — лопастная мешалка; 13 — барботер; 14 — винтовая мешалка; 15 — опорный подшипник; 16 — штуцер для спуска; 17 — рубашка; 18 — загрузочный штуцер; 19 — штуцер для подачи воздуха

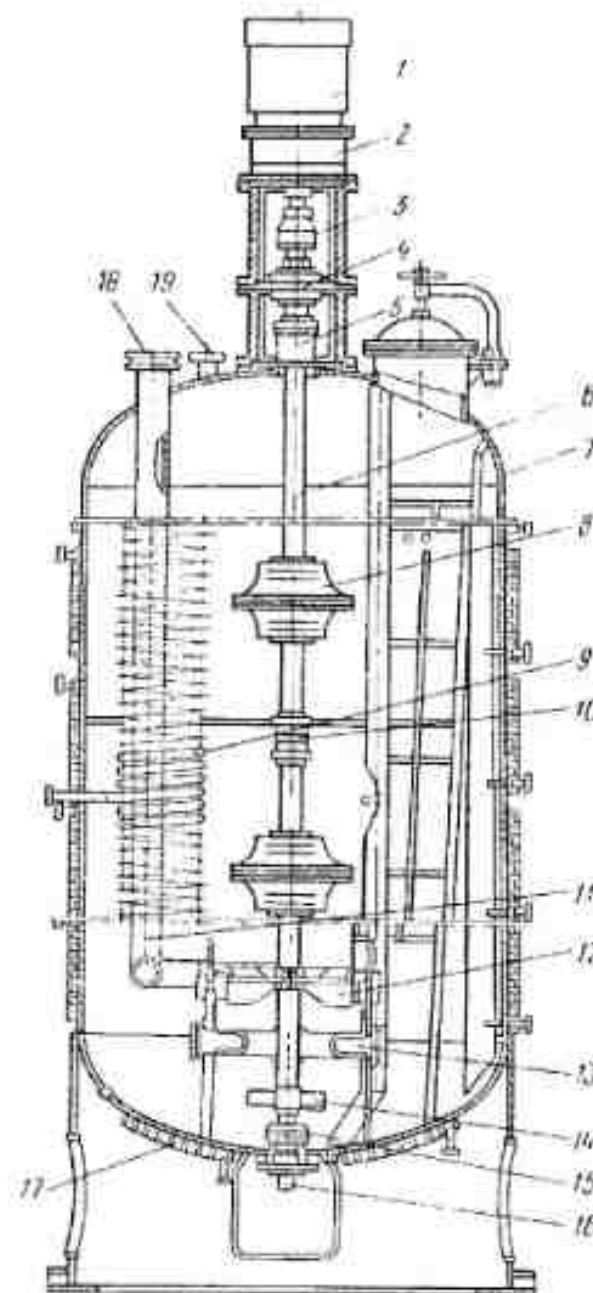
нения вала перемешивающего устройства, технологических трубопроводов и арматуры в течение всего процесса выращивания.

9.1.1. Ферментаторы с механическим перемешиванием барботажного типа

Данный тип ферментатора широко применяется для стерильных процессов выращивания микроорганизмов — продуцентов биологически активных веществ.

Ферментатор объемом 63 м³. Ферментатор этого типа представляет собой вертикальный аппарат цилиндрической формы, изготовленный из стали X18H10T или биметалла с эллиптическими крышкой и днищем (рис. 9.1). Отношение высоты к диаметру равно 2,6 : 1. На крышке аппарата расположен привод перемешивающего устройства и механического пеногасителя; штуцера для загрузки питательной среды, посевного материала, пеногасителя, подачи и вывода воздуха; смотровые окна; люки для погружения моющей механической головки; предохранительный клапан и штуцера для приборов визуального контроля.

Для выгрузки культуры в днище аппарата предусмотрен спускной штуцер 16. Внутри аппарата проходит вал 6 с закрепленными на нем перемешивающими устройствами, состоящими из закрытых турбин 8 диаметром 600—1000 мм с лопастями шириной 150—200 мм, расположенных в два яруса, третьей открытой турбины, установленной над барботером 13 для диспергирования воздушных пузырей. Барботер выполнен в виде разборного ромба из перфорирован-



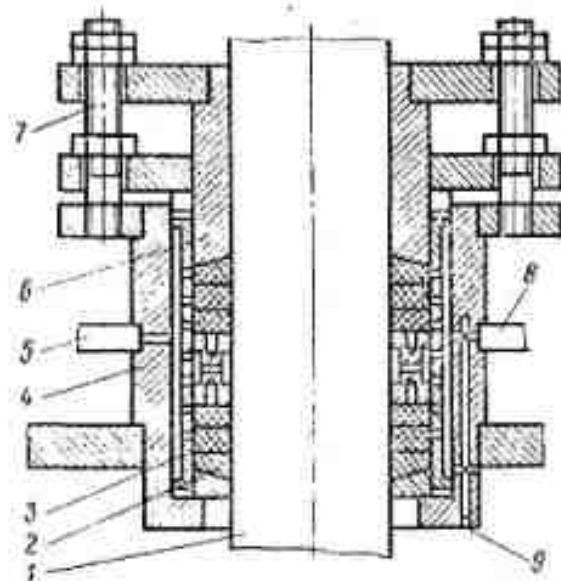


Рис. 9.4. Уплотнение вала ферментатора:

1 — вал; 2 — сальниковая набивка; 3 — перфорированный стакан; 4 — корпус уплотнения; 5 — штуцер для стерильного воздуха; 6 — втулка прижимная; 7 — шпилька; 8 — штуцер для подвода пара; 9 — штуцер для отвода конденсата

шпильки. Сальниковая набивка 2 закладывается между валом 1 и перфорированным стаканом 3. К отверстиям стакана подводится два штуцера 8, по которым поступает пар для стерилизации уплотнения. Стерилизация проводится при температуре 135 °С в течение

1 ч. Конденсат стекает в нижнюю часть и удаляется через нижний штуцер 9. По завершении процесса стерилизации штуцер отвода конденсата перекрывается и через штуцер 5 поступает стерильный воздух, который заполняет уплотняющее устройство. На протяжении всего процесса культивирования давление воздуха поддерживается на уровне 0,2—0,3 МПа.

Таблица 9.1. Техническая характеристика ферментаторов фирмы «Нордон» с механическим перемешиванием

Объем, м³	Частота вращения перемешивающего устройства, мин⁻¹	Диаметр, мм	Высота, мм	Мощность электродвигателя, кВт
2	От 150 до 500	2000	3 260	7,5
3	250	1100	3 910	18,5
15	170	1900	6 350	22,5
32	175	2400	8 290	30,0
60	160	2900	10 650	225,0*
120	120	2800	12 150	225,0

* Мощность электродвигателя указана в случае использования ферментатора для культивирования микроскопического гриба — продуцента амилглюкооксидазы.

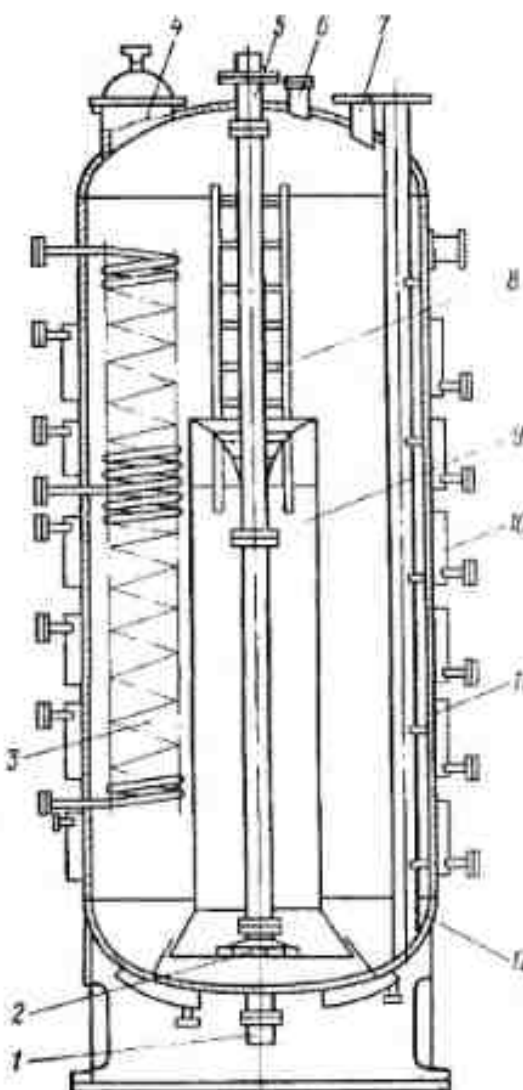
После стерилизации ферментатора и падения давления до атмосферного автоматически открывается подача стерильного воздуха для создания избыточного давления 0,2 МПа, и только после этого в аппарат подается вода для охлаждения. Отвод из ферментатора готовой культуральной жидкости осуществляется с помощью сжатого стерильного воздуха.

9.1.2. Ферментаторы с пневматическим перемешиванием и аэрированием среды

К этому типу относятся аппараты, внутри которых смонтированы форсунки, диффузоры, барботеры для подачи воздуха. Поступающий воздух используется для перемешивания растущей культуры,

Рис. 9.5. Цилиндрический ферментатор с пневматическим перемешиванием и аэрированием среды:

1 — штуцер для слива; 2 — аэратор; 3 — измерители; 4 — люк; 5 — штуцер для подачи воздуха; 6 — штуцер для отвода воздуха; 7 — штуцер для загрузки; 8 — лестница; 9 — диффузор; 10 — рубашка; 11 — корпус; 12 — труба перекачивания



обеспечения потребности микроорганизма в кислороде и отвода образующихся метаболитов.

Ферментатор цилиндрический. Конструктивно такой ферментатор внешне аналогичен ферментатору с механическим перемешиванием, но в нем отсутствуют механические перемешивающие устройства. Аэрирующим устройством (рис. 9.5) является диффузор 9, выполненный в виде цилиндра с раструбом у основания, вмонтированный внутрь ферментатора. Аэратор 2 смонтирован по осевой линии аппарата.

Воздух под давлением с помощью направляющих лопаток вводится в аэратор по касательной к окружной розетке, за счет чего создается вихревое движение воздушно-жидкостной эмульсии.

Эмульсия непрерывно циркулирует по внутреннему замкнутому контуру через верхние кромки цилиндра, кольцевое пространство между внутренней стенкой аппарата и внешней стенкой аэратора, а затем вновь поднимается вверх через раструб. Вследствие создаваемого внутреннего циркуляционного контура происходят интенсивное перемешивание и аэрирование. С целью более эффективного отвода физиологического тепла помимо секционной многоярусной рубашки 10 предусмотрена дополнительная поверхность охлаждения диффузора 9.

Данная конструкция ферментатора рассчитана для работы под избыточным давлением.

Техническая характеристика ферментаторов с пневматическим перемешиванием

Объем ферментатора, м³	25, 49, 63, 200
Рабочее давление, МПа	0,2—0,3
Коэффициент заполнения	0,5
Скорость выхода воздуха из аэратора, м/с	25
Удельный расход воздуха, м³ на 1 м³ растущей культуры микроорганизма	0,5—2

Недостатком этого вида ферментатора является более низкая по сравнению с ферментаторами с механическим перемешиванием величина рабочего объема, особенно при работе с сильно пенящимися средами. Они применяются в тех случаях, когда культура микроорганизма не нуждается в интенсивном перемешивании и ее вязкость невелика.

Ферментатор шаровой с пневматическим перемешиванием. Аппараты этого типа имеют форму шара, внутри которого расположены центральный диффузор и 8 периферийных диффузоров, размещенных равномерно по окружности вместе с барботерами. Ферментатор рассчитан для работы под избыточным давлением 0,47 МПа.

При осуществлении пневматического перемешивания растущей культуры микроорганизма образуются восходящий поток газожидкостной смеси внутри диффузоров и нисходящий между диффузорами. Преимущество ферментатора по сравнению с аппаратами с центральной системой аэрации состоит в том, что в нем скорость абсорбции кислорода при одинаковых объемах аппаратов значительно выше. Однако пока эти аппараты не нашли широкого применения.

Ферментаторы с форсуночным подводом воздуха. Представляют собой цилиндрические вертикальные, реже горизонтальные аппараты, отличающиеся способом подвода воздуха.

В днище ферментатора по окружности вмонтированы форсунки, распыляющие сжатый стерильный воздух в виде факела. Направление оси форсунок вертикальное, диаметр узкого сечения горловины 6 мм. Воздух из форсунки выходит с большой скоростью, диспергируется в растущей культуре, вследствие чего образуется воздушно-жидкостная эмульсия, удельный вес которой меньше удельного веса культуральной жидкости. Образовавшаяся эмульсия устремляется вверх, возле форсунок создается разрежение, и к отверстиям форсунок подсасываются свежие порции жидкости. Таким образом около каждой форсунки образуется циркуляционный контур.

Ферментаторы данного типа, как правило, имеют небольшой объем (до 10—15 м³) и применяются для выращивания посевного материала в стерильных условиях.

Ферментаторы с интенсивным массообменом. Обычно это цилиндрические аппараты вертикального типа. В них достигаются большие линейные скорости движения среды (до 2—3 м/с), при этом концентрация и температура среды практически одинаковы по всему объему аппарата.

Эти ферментаторы отличаются от обычных аппаратов с турбинным перемешиванием тем, что внутри них расположен полый цилиндр (диффузор), в центре которого находится вал с перемешивающим устройством (верхним либо нижним), благодаря чему в аппарате создается внутренний циркуляционный контур.

Ферментаторы вертикального типа конструкции ЛенНИИхиммаша и ВНИИбиотехники. Данная конструкция ферментатора разработана с целью

повышения интенсивности массообмена, сокращения удельного расхода компримированного стерильного воздуха и повышения скорости биосинтеза биологически активных веществ.

Конструкция ферментаторов позволяет осуществлять процесс глубинного культивирования при линейных скоростях потока среды, равных 2 м/с и более.

Ферментатор ФВО-40-0,6 (рис. 9.6) представляет собой вертикальный корпус 7, внутри которого расположены перемешивающее устройство 8, укрепленное на валу, циркуляционная труба, аэратор, теплообменная камера 5, патрубки для ввода питательной среды, патрубки для ввода воздуха, вывода культуры 13 и отходящих газов 16.

В нижней части циркуляционной трубы смонтировано перемешивающее устройство 8, изготовленное в виде винта. Направляющие лопатки расположены над винтом и под ним: нижние вертикально, а верхние — под углом к горизонту. Днище ферментатора выполнено в форме нейлоида. Циркуляционная система ферментатора включает эжектор, подключенный к нижней части аппарата, насос и трубопроводы. Циркуляционная труба

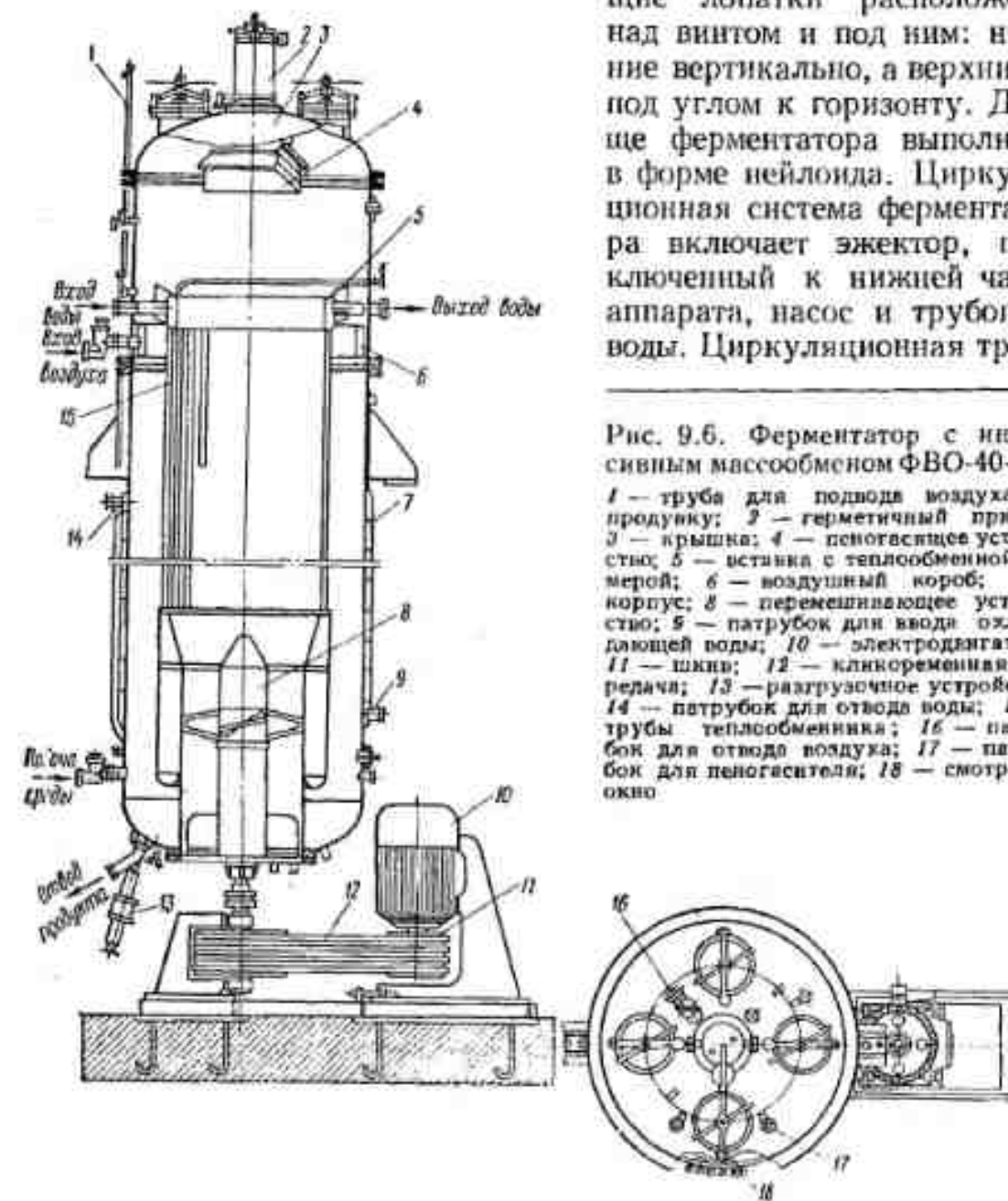


Рис. 9.6. Ферментатор с интенсивным массообменом ФВО-40-0,6: 1 — труба для подвода воздуха на продувку; 2 — герметичный привод; 3 — крышка; 4 — пеногасящее устройство; 5 — установка с теплообменной камерой; 6 — воздушный короб; 7 — корпус; 8 — перемешивающее устройство; 9 — патрубок для ввода охлаждающей воды; 10 — электродвигатель; 11 — шкив; 12 — клиноременная передача; 13 — разгрузочное устройство; 14 — патрубок для отвода воды; 15 — трубы теплообменника; 16 — патрубок для отвода воздуха; 17 — патрубок для пеногасителя; 18 — смотровое окно

15 выполнена в виде трубчатого теплообменника, состоящего из верхнего коллектора, внутри которого расположены в диаметральной плоскости две глухие перегородки, и нижнего коллектора без перегородок; теплообменных труб, расположенных между коллекторами, сообщающихся с ними и соединенных между собой перемычками.

Теплообменная камера жестко закреплена в подставке с двумя фланцами и может быть легко извлечена для ремонта. Механический пеногаситель 4 смонтирован на крышке ферментатора 3. На этой же крышке смонтированы привод пеногасителя 2 и четыре люка для механической мойки.

Движение винта осуществляется от электродвигателя 10 при помощи клиноременной передачи 12 с частотой вращения 280 и 350 мин⁻¹. С целью обеспечения герметичности и стерильности процесса культивирования на валу перемешивающего устройства расположено торцевое уплотнение. Механическое пеногасящее устройство закреплено на валу привода с помощью полый втулки, через которую отводится отделенный от жидкости газ; оно состоит из блока конических дисков с ребрами. Управление электродвигателями местное и дистанционное с выводом сигнала на щит управления.

С целью наблюдения за процессом культивирования микроорганизмов на корпусе расположено 6 смотровых окон 18. Аппарат рассчитан для работы под давлением до 0,3 МПа.

Система средств автоматизации предназначена для регулирования основных параметров процесса: температуры растущей культуры внутри аппарата — по изменению расхода холодной воды в теплообменной камере; количества жидкости — по изменению вывода культуральной жидкости; концентрации водородных ионов — по включению и выключению насосов-дозаторов подачи щелочи или кислоты; концентрации растворенного кислорода в среде — по изменению расхода стерильного свежего воздуха; расхода питательной среды — по изменению подачи питательной среды в аппарат и концентрации биомассы — по изменению расхода питательной среды.

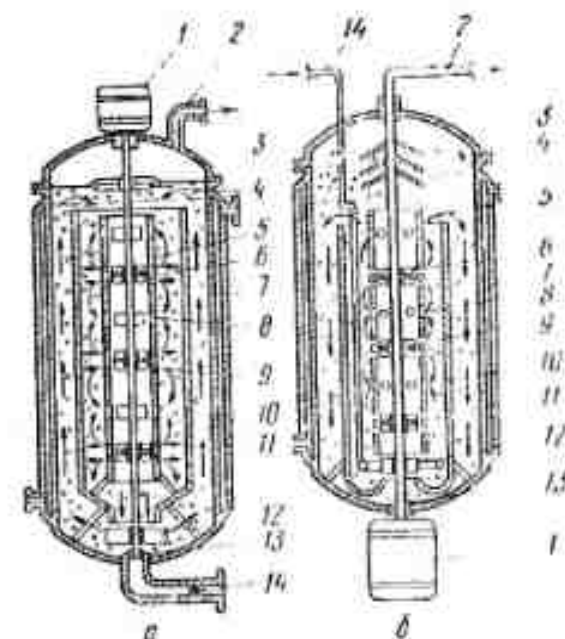
В данной конструкции ферментатора возможен также контроль расхода охлаждающей воды, степени усвояемости азота, концентрации CO₂ и O₂, влажности воздуха, температуры и давления в отдельных точках установки.

Этот ферментатор может работать в периодическом и непрерывном режимах.

По окончании процессов стерилизации и охлаждения ферментатора и вспомогательных устройств его заполняют стерильной питательной средой и приводят в действие перемешивающее устройство, которое осуществляет циркуляцию среды по замкнутому контуру. Компримированный стерильный воздух подается непрерывно через аэратор в пространство между корпусом и циркуляционной трубой. Он увлекается потоком жидкости, дробится на мелкие пузырьки и интенсивно перемешивается со средой, образуя квазигомогенную смесь. Вращательное движение среды создается в цирку-

Рис. 9.7. Ферментатор фирмы «Хемап»:

а — с верхним приводом; б — с нижним приводом;
1 — электродвигатель; 2 — штуцер для выхода воздуха; 3 — крышка; 4 — пеногаситель; 5 — внутренний диффузор; 6 — мешалка; 7 — рубашка; 8 — входное отверстие для среды; 9 — решетчатые отверстия; 10 — наружный диффузор; 11 — корпус; 12 — насос; 13 — опорный подшипник; 14 — входной штуцер



ляционной трубе при помощи лопаток, за счет чего образуется центральный вихрь с повышенным газосодержанием.

Благодаря трению жидкости о выступы трубок теплообменника поддерживается турбулизация периферийных слоев. Отработавший воздух отделяется от жидкости и удаляется через полую втулку пеногасителя.

С целью интенсификации процесса питательная среда поступает в аппарат через эжектор. Культуральная жидкость насосом засасывается из аппарата и нагнетается через сопло эжектора, в результате достигаются высокая степень диспергирования питательных веществ и образование развитой поверхности контакта фаз.

Многочисленная циркуляция растущей культуры в замкнутом контуре с хорошо профилированными поверхностями обеспечивает высокую эффективность процесса и однородность смеси в кольцевом пространстве. Высокую скорость течения хладагента обеспечивает теплообменная камера, в результате чего достигается высокий коэффициент теплопередачи. Погружной коллекторно-трубчатый теплообменник позволяет получать примерно в 10 раз более высокую удельную поверхность охлаждения, чем при теплосъеме через стенку аппарата. Коэффициент теплопередачи увеличивается в несколько раз и составляет около 3900 Вт/(м²·К).

Техническая характеристика ферментатора ФВО-40-06

Объем, м ³	40
Количество загружаемой среды, м ³	До 28
Коэффициент заполнения	0,6—0,7
Давление, МПа	
в корпусе	0,6
в теплообменной камере и наружной рубашке	0,3
в аппарате	0,1—0,6
Мощность привода, кВт	
перемешивающего устройства	125
пеногасящего устройства	40
Частота вращения вала, мин ⁻¹	
перемешивающего устройства	350 и 200
пеногасящего устройства	1500
Габаритные размеры, мм	4600×2600×12 000

Ферментаторы фирмы «Хемаш». Ферментаторы данной конструкции применяются для осуществления процессов культивирования, требующих интенсивной общей турбулизации.

Ферментатор представляет собой цилиндрический вертикальный аппарат (рис. 9.7), внутри которого смонтирован внутренний диффузор 5, заключенный в наружный диффузор 10. Диффузор 5 выполнен с отверстиями разного диаметра 8, 9. На валу на различных уровнях расположено несколько рабочих колес 6, а под цилиндром — лопасти центробежного насоса. Для гашения пены установлен механический пеногаситель тарельчатого типа 4.

9.2. ФЕРМЕНТАТОРЫ ДЛЯ НЕСТЕРИЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

К нестерильным процессам культивирования микроорганизмов относятся в основном процессы выращивания продуцентов кормовых дрожжей. По конструктивному выполнению ферментаторы для производства кормовых дрожжей аналогичны аппаратам для производства ферментов, кормовых антибиотиков, аминокислот и других продуктов микробного синтеза, но в них отсутствуют паровая или воздушная защита вращающихся валов и некоторые конструктивные элементы.

Во многих случаях для производства кормовых дрожжей применяются аппараты, используемые в стерильных процессах.

9.2.1. Ферментаторы с пневматическим перемешиванием и внутренним циркуляционным контуром

Наибольшее распространение получили эрлифтные дрожже-растительные аппараты системы Лефрансуа с внутренним циркуляционным контуром. В гидролизно-дрожжевом производстве применяются аппараты этого типа емкостью 250, 320, 600 и 1300 м³. Данные конструкции ферментаторов не имеют механических средств пеногашения. Пена гасится под тяжестью столба жидкости при ее циркуляции.

Воздух в аппарат проходит по центральной трубе в кокету, где из подаваемого сусла и жидкости, содержащейся в нижней части аппарата, образуется газожидкостная смесь, которая движется по внутреннему диффузору. Часть воздуха отделяется от пены и выходит в атмосферу через отверстие в крышке аппарата, а другая часть вместе с пеной опускается по кольцевому зазору между диффузором и стенкой. При движении вниз пена гасится. Кратность циркуляции достигает 1,5—2 объема рабочей жидкости в минуту. Промышленные аппараты имеют высоту 12—15 м. Пена поднимается до высоты 10—12 м. Охлаждение ферментатора производится орошением наружной стенки и подачей воды в рубашку диффузора. Расход воздуха составляет 20 м³ на 1 кг сухих дрожжей.

Техническая характеристика промышленных ферментаторов этого типа, работающих при атмосферном давлении, приведена в табл. 9.2.

Таблица 9.2. Техническая характеристика ферментаторов с пневматическим перемешиванием и аэрированием для производства кормовых дрожжей

Показатели	Объем аппарата, м ³			
	320	500	600	1300
Производительность по приточному суслу, м ³ /ч	20—30		30—35	55—62
Среда	pH 4,5		pH 3,5—4,5	pH 4,2—4,5
Расход воздуха, м ³ /ч	До 5000	9000	14 000—16 000	18 000
Давление воздуха избыточное, кгс/см ²	0,6	0,75	0,4	0,6
Поверхность охлаждения рубашки диффузора, м ²	30	50·3 = 150	58	50·4 = 200
Габаритные размеры, мм	5700× ×13 350	7600× ×11 200	7400× ×14 175	11 000× ×14 500

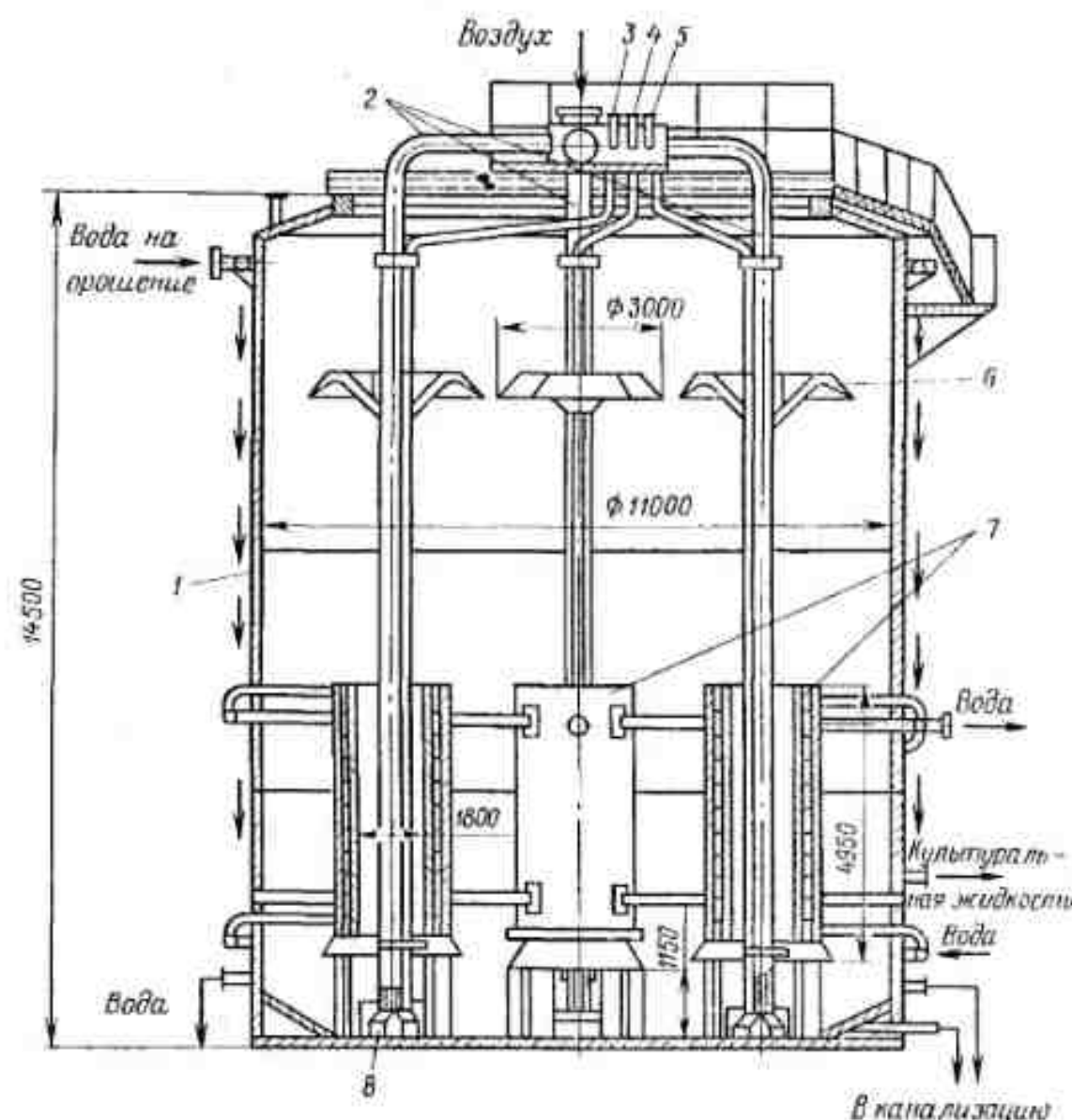


Рис. 9.8. Цилиндрический эрлифтный ферментатор вместимостью 1300 м³

Цилиндрический эрлифтный ферментатор вместимостью 1300 м³. Предназначен для непрерывного выращивания дрожжей на сусле, которое является отходом гидролизно-дрожжевого производства.

Он представляет собой стальной сварной корпус 1 с днищем в виде усеченного конуса и конической крышкой с центральным отверстием (рис. 9.8). Внутри аппарата установлены четыре диффузора 7, которые создают четыре самостоятельно циркулирующих потока. Через коллектор 2 в центральные трубы каждого диффузора, на конце которых имеются конус и кювета 8, подается сжатый воздух.

На крышке аппарата установлен распределительный бачок, куда через штуцера 3, 4 и 5 поступают бражка, сусло, засевные дрожжи и аммиачная вода. Все компоненты смешиваются и образуют питательную смесь, которая свободным потоком по трубам диаметром 100 мм поступает вниз, в кюветы аэрирующего устройства.

Питательная смесь, переливаясь через край кюветы, смешивается с воздухом, выходящим через щели под кюветой. Образовавшаяся воздушно-жидкостная эмульсия поднимается вверх по диффузору к отбойнику 6, откуда, разрушаясь, стекает вниз. Для наружного охлаждения стенок аппарата установлен ороситель в виде коллектора.

9.2.2. Ферментаторы с самовсасывающей мешалкой

Ферментаторы системы Вальдгофа. Применяемые воздухораспределительные системы (барботеры, форсунки) требуют значительного расхода воздуха и электроэнергии. Для более экономичного расхода воздуха и энергии созданы различные конструкции ферментаторов с механическими циркуляционными системами аэрации. В таких системах аэрация среды большими воздушными струями заменяется распределением воздуха тончайшими струйками, что позволяет улучшать процесс аэрации и экономить расход воздуха. На рис. 9.9 показана схема дрожжерастильного ферментатора системы Вальдгофа. Ферментатор представляет собой цилиндрический вертикальный аппарат, в центре которого смонтирован вертикальный цилиндр 3 диаметром 1200 мм и высотой 3000 мм, который делит ферментатор на внутреннюю и внешнюю части. Одновременно этот цилиндр используется в качестве теплообменника. В центре ферментатора также смонтирован полый вал 1 с электроприводом 2 диаметром 200 мм, к верхней части которого подводится воздух. На другом конце вала у дна аппарата установлена распределительная коробка, от которой отходят пять загнутых труб диаметром 70 мм и длиной 650 мм, образующих сегнорово колесо 4.

При вращении вала со скоростью 300 мин⁻¹ воздух выходит из открытых торцевых отверстий этих труб и смешивается с жидкостью, находящейся в ферментаторе. В аппарате создается усиленная циркуляция дрожжевой бражки: в центре ферментатора (внутри цилиндра) происходит движение среды сверху вниз, а во внешней

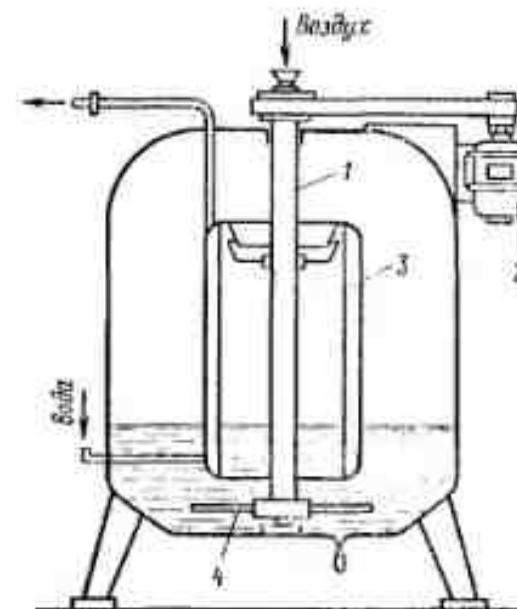


Рис. 9.9. Ферментатор системы Вальдгофа

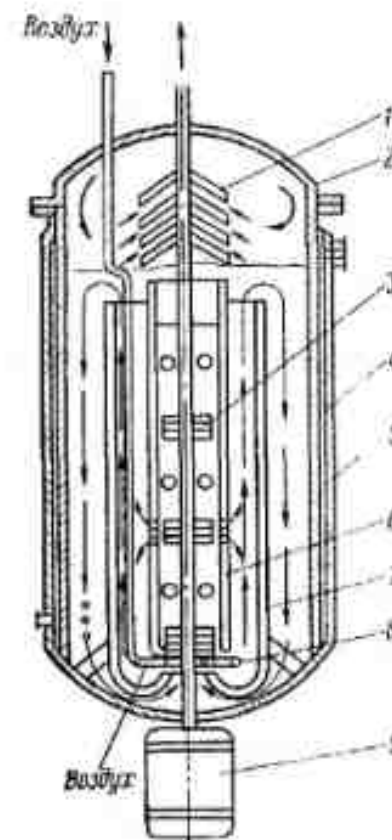


Рис. 9.10. Ферментатор с механическим перемешиванием и вращающимися аэраторами:

1 — механический пеногаситель; 2 — крышка; 3 — перемешивающее устройство; 4 — корпус; 5 — рубашка; 6 — диффузор; 7 — цилиндр; 8 — барботер; 9 — привод перемешивающего устройства

зоне — снизу вверх. Суспензия, находящаяся в этой зоне, снабжается воздухом, поступающим с пеной из вертикального цилиндра. В процессе такого смешения воздух с растущей культурой образует эмульсию. В ферментаторах системы Вальдгофа отсутствуют пеногасители.

Ферментатор с механическим перемешиванием и вращающимися аэраторами. Эта конструкция ферментатора системы «Фогельбуш» разработана в ГДР. Объем ферментатора 250 м³ при диаметре 7000 мм (рис. 9.10). Он снабжен двухлопастной пустотелой пропеллерной мешалкой 3, имеющей 10 000 отверстий, которая насажена на вал.

Воздух поступает вверх под давлением в растущую культуру дрожжей при частоте вращения мешалки 27—55 мин⁻¹. Мощность приводного двигателя 9 равна 20 кВт. Мешалка создает замкнутый циркуляционный контур жидкости. В ферментаторах такой системы воздуха расходуется на 30—40 % меньше, чем в обычной барботажной системе.

Поскольку аэрирование сопровождается сильным пенообразованием, предусмотрена специальная система пеногашения, включающая лотки для сбора пены, расположенные в верхней части, механический пеногаситель 1 и газоотделитель. Отсепарированная из пены жидкость вновь поступает в ферментатор. Для отвода отработавшего воздуха используется вентилятор. С помощью механического восьмиступенчатого редуктора можно выбирать опти-

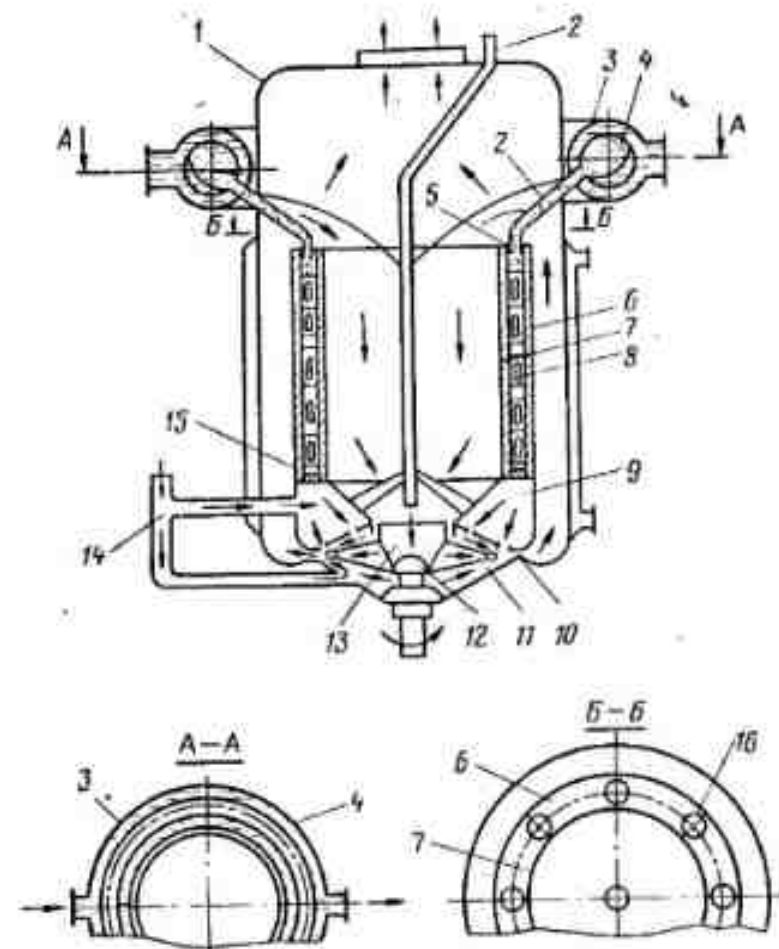


Рис. 9.11. Ферментатор конструкции ВНИИбиотехники

мальный режим аэрации. Для охлаждения предусмотрен змеевиковый теплообменник.

В процессе эксплуатации выяснилась недостаточная эффективность системы пеногашения. В связи с этим она была заменена беличьим колесом диаметром 1400 мм, посаженным на отдельный вал, соосный с основным валом, и вращающимся в обратную сторону со скоростью до 100 мин^{-1} . Общая мощность электродвигателя возросла до 55 кВт.

Общая емкость ферментатора 400 м^3 , рабочая емкость 75 м^3 , коэффициент использования емкости 20 %. На 1 м^3 готовой культуры дрожжей расходуется $2,48 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ электроэнергии. Приведенный уровень расхода электроэнергии чрезвычайно высок, тем более что при большой суточной производительности завода необходимо устанавливать несколько ферментаторов.

Аппарат конструкции ВНИИбиотехники. Общим недостатком приведенных выше конструкций ферментаторов является недостаточно эффективный отвод тепла, выделяемого в процессе жизнедеятельности микроорганизмов, что не обеспечивает термостабилизации процесса выращивания микроорганизмов, так как в аппаратах осуществляется конвективный теплообмен

путем прокачки охлаждающей ферментатор воды без фазовых переходов.

В аппаратах конструкции ВНИИбиотехники предусмотрено повышение производительности ферментатора путем ускорения теплосъема.

Ферментатор (рис. 9.11) состоит из вертикальной емкости 1 и аэратора (в виде закрепленного на приводном валу турбинного колеса 12 со всасывающим патрубком 13), сообщенного через воздушный коллектор 9 с воздухоподводящим трубопроводом 14. Турбинное колесо 12 расположено в кольцевой камере 11, образованной воздушным коллектором 9 с дном емкости 1. Кольцевая камера имеет проток для циркуляции культуральной жидкости 10.

Аппарат содержит коаксиально установленное теплообменное устройство типа «тепловая труба» с коллектором-конденсатором 4, расположенным выше предполагаемого уровня культуральной жидкости и размещенным в охлаждаемом кожухе 3.

Участок тепловой трубы, расположенный в культуральной жидкости, выполнен в виде двух цилиндрических обечайек 7 и 6, размещенных одна в другой с образованием кольцевого зазора 8 для хладагента и заглушенных по торцам кольцевыми пластинами 5 и 15.

В верхней пластине 5 выполнены отверстия 16 для трубок 2, соединяющих участок тепловой трубы, расположенный в культуральной жидкости, с коллектором-конденсатором. Через трубки 2 в аппарат подводится питательная среда.

Ферментатор работает следующим образом. Жидкость засасывается вращающимся турбинным колесом 12 и затем с большой скоростью выбрасывается в кольцевые протоки 10 кольцевой камеры 11. При этом за счет падения давления в кольцевых протоках происходят подсос воздуха в кольцевую камеру и дробление его в жидкой фазе до мельчайших пузырьков.

Выходящая из камеры 11 газожидкостная смесь поднимается вверх в пространство, образованное емкостью 1 и цилиндрической обечайкой 6 тепловой трубы. При этом при переливе через верхний край тепловой трубы воздух частично отделяется от жидкой фазы и выходит через штуцер для отходящих газов, а жидкость проходит, опускается по цилиндрической обечайке 7 и вновь засасывается турбинным колесом 12, что позволяет осуществить непрерывное аэрирование среды.

В процессе микробиологического синтеза выделяется избыточное тепло, в результате чего хладагент (например, фреон) в кольцевом зазоре 8 тепловой трубы вскипает, а образующиеся при кипении пары отводятся по трубкам 2 в коллектор-конденсатор, размещенный вне емкости, где конденсируются, а образующийся конденсат поступает обратно в кольцевой зазор под действием сил тяжести.

Реализация процессов кипения и конденсации в замкнутом контуре тепловой трубы и циркуляции культуральной жидкости между ее стенками повышает термостабилизацию внутри аппарата и ускоряют процесс теплосъема.

9.2.3. Ферментатор горизонтального типа конструкции ЛенНИИхиммаша

Ферментатор (рис. 9.12) представляет собой замкнутую систему из двух горизонтально расположенных труб 4 с герметичными приводами 2 винтового перемешивающего устройства и сепаратором 1 для механического пеногашения.

Корпус ферментатора собран из отдельных секций, соединенных между собой с помощью фланцев. Каждая секция оборудована рубашкой. На одной из секций ферментатора расположен герметичный электропривод с винтовым перемешивающим устройством. Внутри ферментатора в двух секциях смонтирован пластинчатый успокоитель 5, представляющий собой набор тонких вертикальных пластин, расположенных вдоль потока среды по всей высоте секции. С помощью пластинчатого успокоителя турбулентное движение среды переходит в ламинарное. Здесь же происходит частичное выделение газовой фазы из циркулирующей смеси. Из успокоителя среда с большим количеством пены поступает в сепаратор 1, внутри которого на конце консольного вала привода имеется диск, снабженный радиальными лопастями. При быстром вращении диска создается вихрь, разбивающий пену, газ из сепаратора удаляется, а отсепарированная среда возвращается в ферментатор.

С целью интенсификации процессов перемешивания и регулирования расходуемой на перемешивание мощности ферментатор оборудован двумя встроенными дроссельными клапанами 3. Поворотом дроссельных заслонок регулируется линейное сопротивление потока среды и изменяется нагрузка на винт привода.

Скорость потока среды в ферментаторе в зависимости от шага винта составляет до 2 м/с.

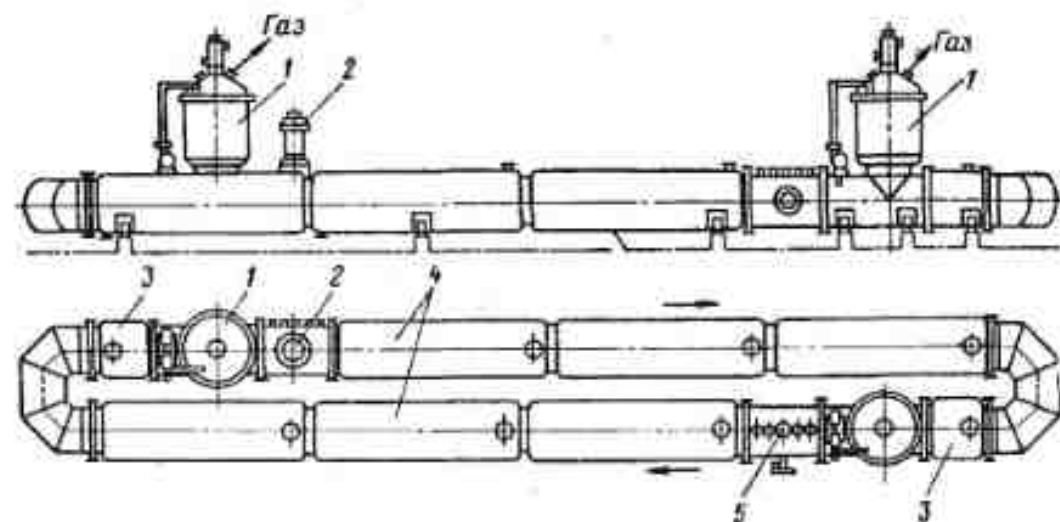


Рис. 9.12. Ферментатор горизонтального типа конструкции ЛенНИИхиммаша

Преимущества горизонтального ферментатора по сравнению с ферментатором вертикального типа конструкции ЛенНИИхиммаша — меньшая металлоемкость и энергоемкость, легкая транспортабельность, что имеет особо важное значение для ферментаторов большой емкости. Наиболее существенным преимуществом ферментатора горизонтального типа является значительно меньший перепад давления, чем в вертикальном, что благоприятно влияет на процесс культивирования микроорганизмов.

Данный вид ферментатора предназначен для выращивания кормовых дрожжей. При полной герметизации аппарата и при его изготовлении из нержавеющей стали он может быть использован для культивирования микроскопических грибов, актиномицетов и бактерий. Особенно перспективно его использовать в случае культивирования ферментосинтезирующих бактерий, причем эффективность использования такого ферментатора может быть значительно увеличена в случае применения обогащенных питательных сред.

9.2.4. Колонные ферментаторы

Эти ферментаторы подразделяются на ферментаторы тарельчатого типа и ферментаторы без горизонтально акционирующих устройств. Конструкции колонных аппаратов отличаются большой величиной отношения высоты к диаметру. Аппараты весьма перспективны, поскольку отличаются простотой конструкции, возможностью интенсификации процессов биосинтеза и большой единичной мощностью.

К преимуществам конструкций колонных аппаратов относятся также отсутствие движущихся и вращающихся частей и малая установочная площадь.

Струйные ферментаторы. В ГДР разработаны ферментаторы с интенсивным массообменом объемом до 1000 м³, в которых используется метод так называемых затопленных струй.

Ферментатор (рис. 9.13) работает следующим образом. Центробежный насос, осуществляющий функции дегазации жидкости, нагнетает жидкость на вход вертикального ферментатора. Жидкость стекает вниз вдоль стенок шахты в виде кольцевого потока. На нижнем конце шахты ферментатора, находящейся на уровне поверхности жидкостной смеси, первоначальный кольцевой турбулизированный поток жидкости сужается в поперечном сечении трубы и стекает из нее в виде струй, при этом создается область пониженного давления.

Через отверстие в шахтной головке в область пониженного давления всасывается воздух, образуя гомогенную смесь с жидкостью. Аэрированная подобным образом жидкость в виде свободнопадающих струй за счет запаса кинетической энергии доходит почти до дна ферментатора, создавая интенсивные поля турбулентности в культуральной жидкости. Пузырьки газа, поднимаясь со дна ферментатора к поверхности, вновь проходят поля турбулентности, образуя от свободнопадающих струй.

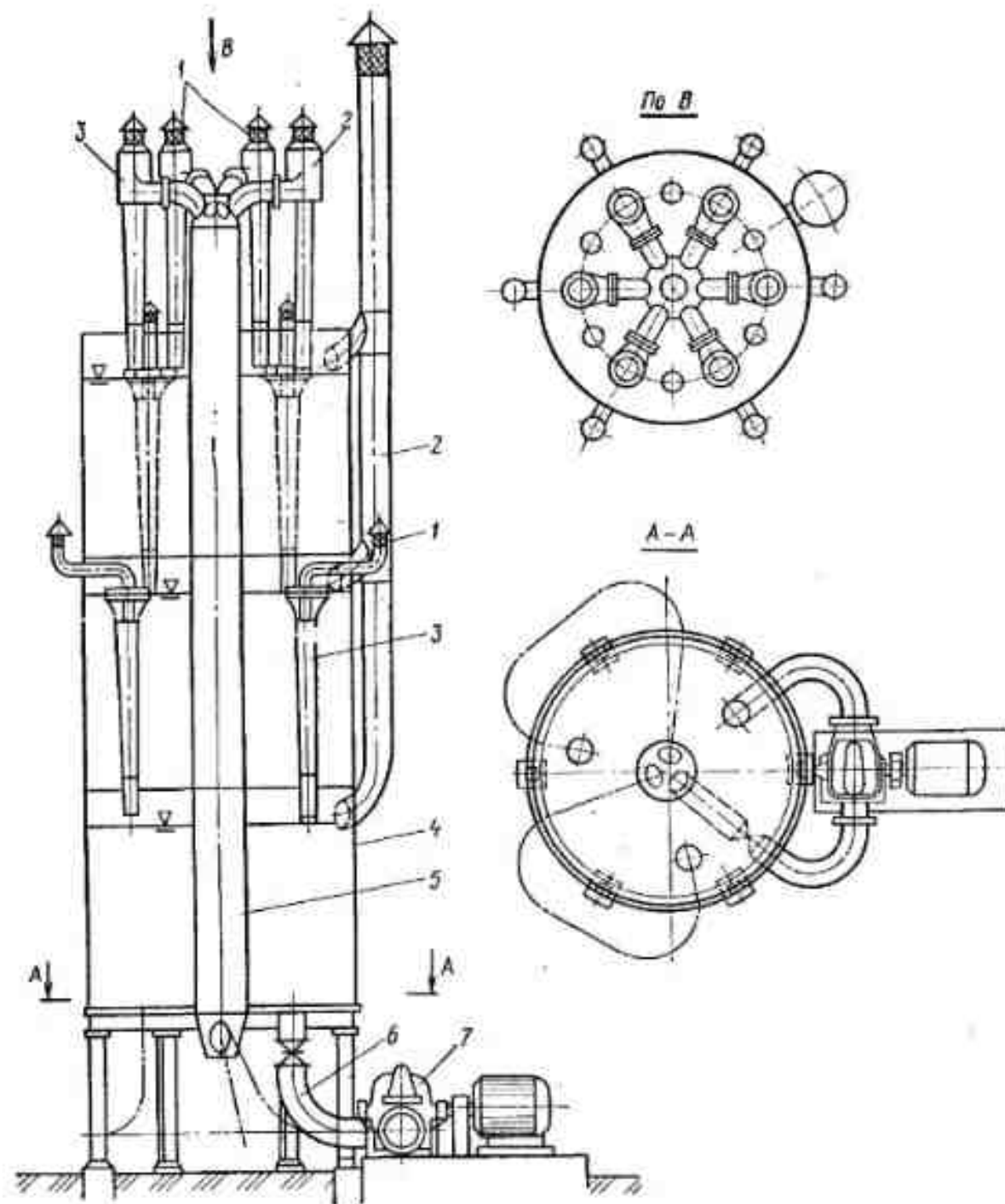


Рис. 9.13. Ферментатор струйного типа:

1 — вход воздуха; 2 — трубопровод отходящего воздуха; 3 — шахтный водоброс; 4 — корпус; 5 — напорный трубопровод; 6 — всасывающий трубопровод; 7 — циркуляционный насос

С помощью подобной системы аэрации можно обеспечить снабжение кислородом больших ферментаторов объемом до 2000 м³, достигая высокой интенсивности перемешивания.

Техническая характеристика струйных ферментаторов для выращивания дрожжей приведена в табл. 9.3.

При скорости движения струи в 8—12 м/с и постоянном давлении дисперсия воздуха достаточно хорошая. Импульс свободнопадающей струи выбирается таким, чтобы содержимое фермента-

Таблица 9.3. Техническая характеристика струйных ферментаторов производства ГДР

Показатели	Объем ферментатора, м ³		
	200	400	1000
Производительность ферментатора (в пересчете на абсолютно сухое вещество), кг/ч	250	370	
Объем аэрированной жидкости, м ³	180	350	
Наполнение ферментатора, т	80	130	400
Производительность циркуляционных насосов, т/ч	2500		4400
Кратность циркуляции насосов, объемов в час	30	26—30	110
Число насосов	1	2	10
Потребление электроэнергии насосами для аэрации и гомогенизации, кВт·ч	125—135	210—220	2200
Расход воздуха в аэрационной шахте падения, м ³ /ч	3600	5000	60 000
Размеры, мм			
диаметр	6000	8000	11 500
высота цилиндрической части	7500	8000	10 500

тора благодаря инжекторному действию в зоне входа струи, точечному движению у стенок аппарата и перемещению воздушных пузырей интенсивно перемешивалось. Находящиеся в струе воздушные пузыри почти полностью доходят до дна ферментатора, а при подъеме к поверхности разрушаются турбулентным полем.

В случае сокращения количества циркулирующей жидкости дисперсия воздуха резко улучшается и он равномерно распределяется по всему объему ферментатора. С увеличением потока циркулирующей жидкости и возрастанием расхода энергии скорость газообмена линейно возрастает в широком рабочем диапазоне. Следовательно, процесс аэрирования можно регулировать скоростью газопередачи. В ферментаторах данной конструкции потребность в энергии на захват воздуха очень мала и энергия циркулирующего потока почти полностью обеспечивает необходимую для массообмена турбулентность. При таком методе культивирования имеются все необходимые условия для интенсивного массообмена в ферментаторе: высокая турбулентность, хорошая дисперсия воздуха, большая продолжительность пребывания его в растущей культуре и высокая гомогенность среды.

Циркуляционный насос является основным механическим двигателем всей системы. Метод затопленной струи особенно эффективен для процессов с высокими скоростями массообмена.

В случае каскадной компоновки ферментаторов или при внутреннем разделении аппарата большой емкости на 2—3 части все отсеки аппаратов соединены с помощью сливов, по которым циркулирующая среда поступает из верхнего отсека в нижний, каждый раз насыщаясь при этом кислородом воздуха.

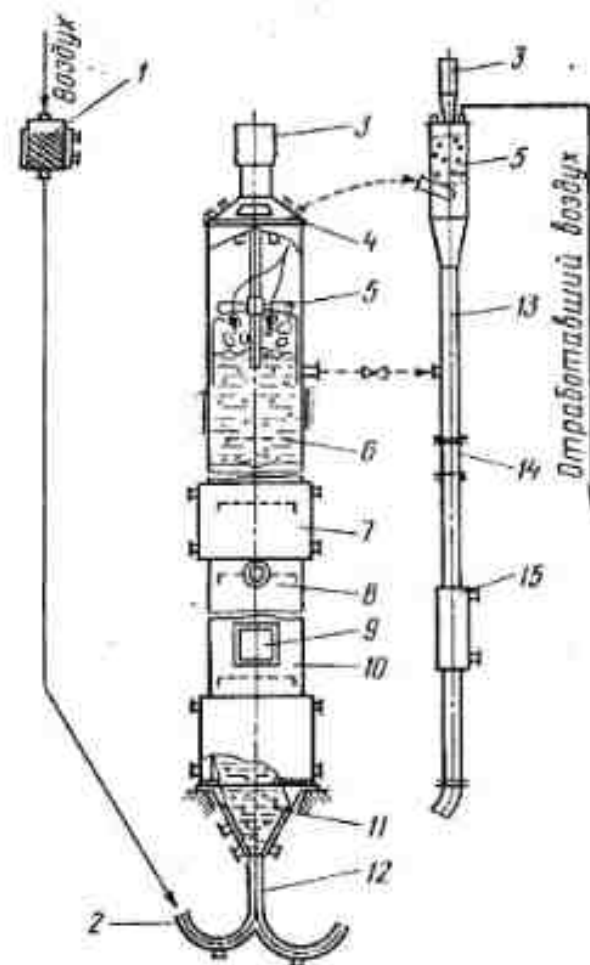


Рис. 9.14. Несекционированный колонный ферментатор

Количество циркулирующей жидкости ограничено подачей перекачивающего насоса. При расположении в три этажа количество насосов, необходимых для одноэтажной установки с троекратной высотой перекачивания, сокращается в 3 раза. Образующаяся в процессе аэрирования пена также поступает вниз, поэтому пеногасящее устройство смонтировано в нижней части аппарата. Отвод физиологического тепла осуществляется в специальном выносном теплообменнике.

Данный тип ферментаторов сложно применять для культивирования микроорганизмов в стерильных условиях из-за трудности герметизации циркуляционных насосов, пригодных для стерилизации паром. Но такие его преимущества, как простота устройства, большая емкость, обеспечение интенсивного аэрирования и массообмена без перемешивающих устройств, делают эту конструкцию перспективной в микробиологической промышленности.

Аппарат конструкции Института микробиологии АН Латвийской ССР им. А. Кирхенштейна. Примером колонн полного перемешивания

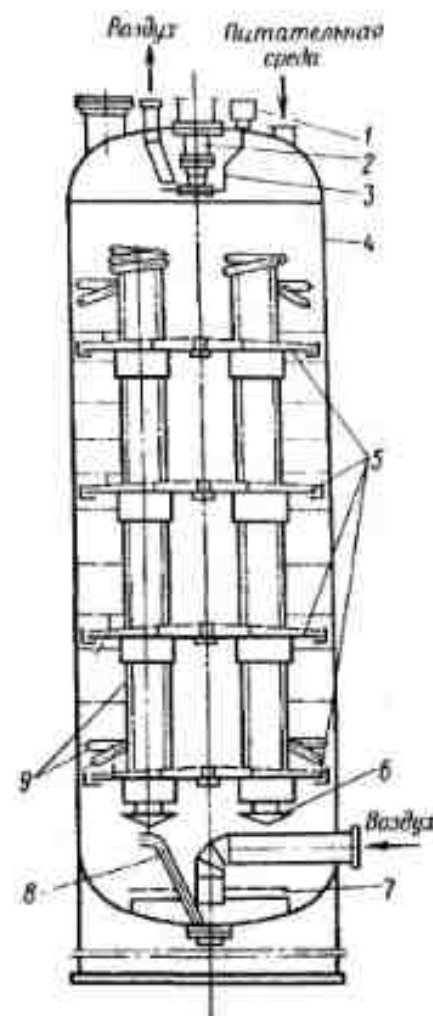


Рис. 9.15. Ферментатор с контактными устройствами:

1 — автомат импульсной подачи пеногасителя; 2 — механический пеногаситель; 3 — подвод химического пеногасителя; 4 — корпус ферментатора; 5, 6, 7 — контактные устройства; 8 — отвод продукта; 9 — теплообменник

вания (несекционированных аппаратов) служит ферментатор, разработанный в Институте микробиологии им. А. Кирхенштейна АН Латвийской ССР.

Аппарат (рис. 9.14) состоит из цилиндрического корпуса 10 с коническим дном 11 и сферической крышкой 4. Он оборудован рубашкой 7, теплообменником 15, аэратором 12, барботажным элементом 6, пеногасителем 5, циркуляционной трубой 13, воздушным фильтром 1, электродвигателем 3, штуцером для подвода воздуха 2, люком 9, смотровым люком 8 и прозрачным участком циркуляционной трубы 14.

Конические или сферические барботажные элементы 6 с вертикальными бортами по периферии, не достигающими до корпуса аппарата, расположены один над другим, образуя зону восходящих газожидкостных потоков.

Менее насыщенный газом субстрат движется вниз по кольцевой щели между бортами тарелок и корпусом аппарата.

Ферментатор с контактными устройствами. Данная конструкция ферментатора разработана сотрудниками Института микробиологии им. А. Кирхенштейна АН Латвийской ССР и Иркутск-НИИхиммашем. Ферментатор (рис. 9.15) представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, изготовленный из биметалла, объемом 100 м³. Он предназначен для культивирования микроорганизмов в периодических и непрерывных режимах.

Внутри корпуса аппарата по высоте смонтированы на расстоянии 1200—2000 мм одно от другого контактные устройства в виде перфорированных тарелок с переливными трубками, благодаря чему улучшается диспергирование потока воздуха. Стерильный воздух для аэрирования растущей культуры в количестве 0,5—1,5 м³/(м³·мин) подается под нижнее контактное устройство и, диспергируясь на мелкие пузырьки, поступает в культуральную жидкость.

Восходящий поток газожидкостной смеси и нисходящий поток культуральной жидкости обеспечивают интенсивное перемешивание и аэрацию растущей культуры. Выделяющееся физиологическое тепло отводится через рубашку с площадью поверхности теплообмена 45 м² и змеевики, расположенные внутри аппарата с площадью поверхности 112 м². Высокий коэффициент заполнения (0,75), совмещенное механическое и химическое пеногашение, повышенная герметичность, отсутствие перемешивающих устройств, снижение удельных затрат электроэнергии и металлоемкости обеспечивают высокие технико-экономические показатели аппаратов с контактными устройствами по сравнению с другими аппаратами.

Аппарат снабжен приборами автоматического контроля и регулирования параметров процесса.

Аппарат конструкции ВНИИбиотехники. Основным недостатком аппаратов, содержащих, по меньшей мере, одну цилиндрическую емкость с циркуляционным насосом и трубопроводами, снабженную в верхней части напорной камерой и разделенную по высоте на ряд отдельных секций с расположенными в них эжекторами, является

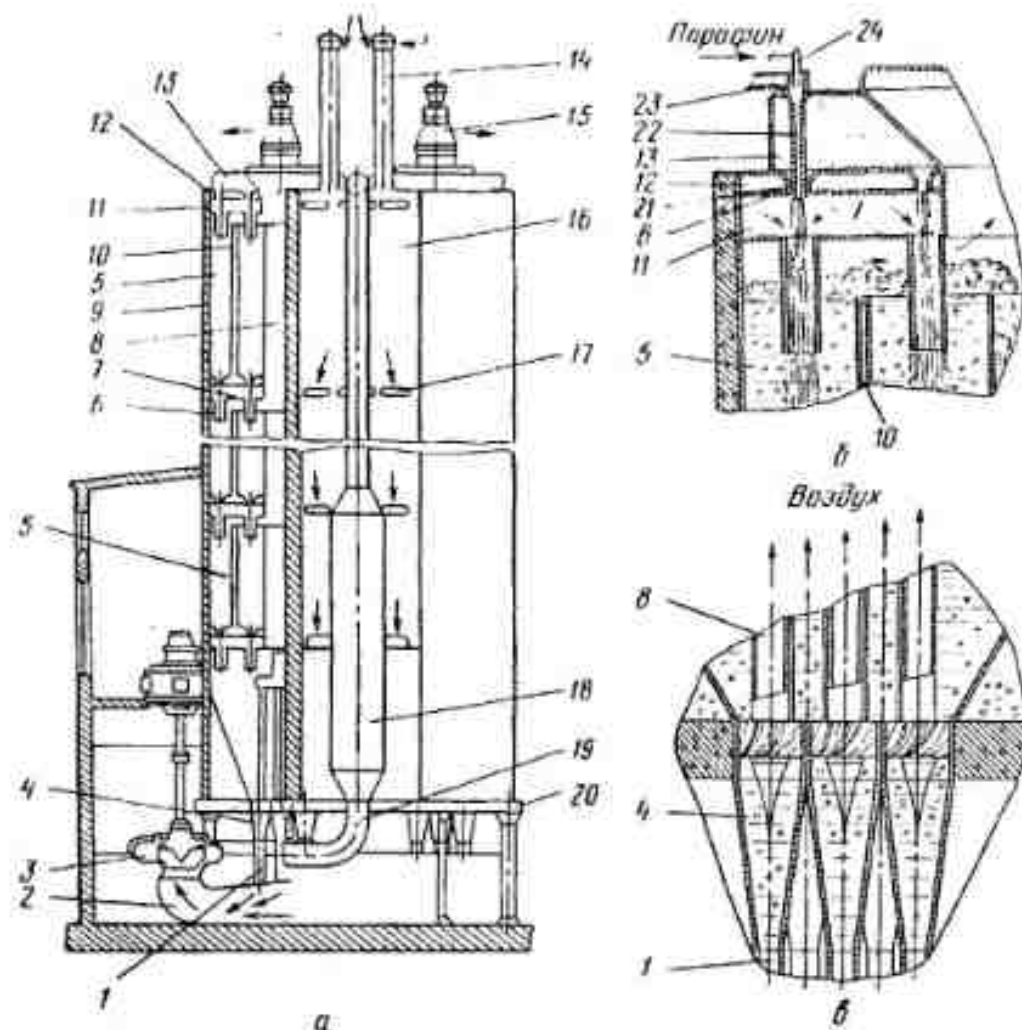


Рис. 9.16. Аппарат для выращивания микроорганизмов конструкции ВНИИ-биотехники:
а — общий вид; б — устройство для распыления субстрата; в — гидроциклоны с газоотводящими трубами

то, что жидкость подается в сливные трубы из верхней секции аппарата, где она и так достаточно насыщена газом.

Напор жидкости при ее подаче через сливные трубы сильно падает, вследствие чего струя, выходящая из трубы, не имеет достаточной кинетической энергии, поэтому в нижней части каждой секции образуются застойные зоны, что снижает интенсивность процесса выращивания. С целью интенсификации процесса выращивания в аппарате данной конструкции эжекторы устанавливаются в днищах напорной камеры и каждой секции, а под ними — перегородку для образования воздушной полости. Камеры смешения эжекторов укреплены в перегородке, а в нижней секции расположено устройство для дегазации жидкости. В каждой секции установлено не менее одного цилиндра с полыми стенками для подвода в него теплоносителя.

Аппарат (рис. 9.16, а) состоит из цилиндрической емкости 9 с циркуляционным насосом 3 и трубопроводами 19. В верхней части корпуса расположена напорная камера 13, разделенная по высоте на ряд отдельных секций 5. В каждой такой секции располо-

жены эжекторы. Эжекторы (рис. 9.16, б) установлены в днищах напорной камеры 13 и в каждой секции 4, а под ними расположены образующие воздушную полость перегородки 7. Эжекторы состоят из камеры смешения 6, укрепленной в перегородке 7, и сопла 21.

В нижней секции расположено устройство для дегазации жидкости, выполненное в виде гидроциклонов 4, нижние патрубки 1 которых сообщены со всасывающим патрубком 2 циркуляционного насоса 3, а верхние патрубки для отвода газа подключены к коллектору 20.

Над коллектором по центру емкости 9 установлена газоотводящая труба 8. Напорная камера 13 снабжена устройством для распыления субстрата, состоящим из форсунки 24, камеры смешения 22 и патрубка для подвода солевого раствора 23 (рис. 9.16, в).

В каждой секции установлен, по крайней мере, один цилиндр 10 с полыми стенками для подвода в него теплоносителя.

В аппарате имеются также теплообменник 18, воздушные и теплообменные камеры 11 и 12, патрубки для забора воздуха 14, воздухоподводящая шахта 16, воздухозаборные окна 17 и пеногасители 15.

Цилиндрическая емкость 9 заполняется засеянной питательной средой на 60—70 % объема. При включении циркуляционного насоса 3 по всасывающему патрубку 2 поступает засеянная среда, которая проходит через теплообменник 18 и попадает в напорную камеру 13. Через сопла 21 с большой скоростью жидкость проходит из цилиндра 10 в камеру 11 и далее — в камеры смешения эжекторов, где перемешивается с воздухом. Из эжектора газожидкостная смесь поступает в первую секцию.

Через несколько минут после включения циркуляционного насоса 3 в каждой секции 5 устанавливается уровень жидкости, ограниченный высотой газоотводящей трубы 8. Суммарная площадь сечения сопел каждой секции выбирается таким образом, что высота столба жидкости обеспечивает расход через сопла 95 % поступающей в секцию жидкости. Остальная жидкость протекает через края газоотводящей трубы 8 и перегородок 7, при этом в газоотводящую трубу выносятся образовавшаяся пена.

После установления в каждой секции емкости определенного уровня аппарат переходит на устойчивую работу. Энергия, сообщенная жидкости насосом 3, равна потенциальной энергии высоты подъема и энергии давления в напорной камере 13. При этом последняя расходуется на перемешивание жидкости в первой секции, а энергия гидростатического давления столба жидкости в каждой предыдущей секции служит источником энергии для перемешивания в последующей. Таким образом, жидкость циркулирует по замкнутому контуру.

Последняя секция заканчивается гидроциклонами 4 (рис. 9.16, в), где газожидкостная эмульсия разделяется под действием центробежных сил. Жидкость по патрубкам 1 поступает во всасывающий патрубок 2 и далее — в циркуляционный насос 3, а воздух выводится по воздухоотводящим патрубкам.

По сравнению с другими ферментаторами в данных аппаратах исключаются застойные зоны, происходит равномерное распределение энергии перемешивания, улучшается тепло- и массообмен, деаэрирование в гидроциклонах обеспечивает устойчивую работу циркуляционного насоса, устройство для распыления субстрата способствует лучшему его усвоению культурой микроорганизмов.

Подача воздуха в аппарат осуществляется эжекторами всех секций, при этом воздух из атмосферы входит через патрубки 14 в воздухопроводящую шахту 16 и через воздухозаборные окна 17 поступает в камеры 11.

Образующаяся в камерах смешения эжекторов газозадушная смесь перемешивается в объеме жидкости соответствующей секции. При интенсивном пенообразовании включаются пеногасители.

9.2.5. Ферментаторы с эжекционной системой аэрирования

Данные конструкции ферментаторов применяются для культивирования специальных штаммов дрожжей на питательных средах, содержащих жидкие парафины.

Ферментатор Б-50. Ферментатор этой конструкции выполнен в виде вертикальной цилиндрической емкости вместимостью 800 м³ (коэффициент заполнения 0,4), разделенной на 12 секций (рис. 9.17). Каждая секция снабжена перемешивающими и аэрирующими устройствами. Ферментатор оборудован щелевыми мешалками, выполняющими одновременно функции перемешивания жидкой фазы и подвода аэрирующего воздуха.

В процессе вращения щелевой мешалки на выходе жидкости создается зона разрежения, в которую подсасывается воздух. При

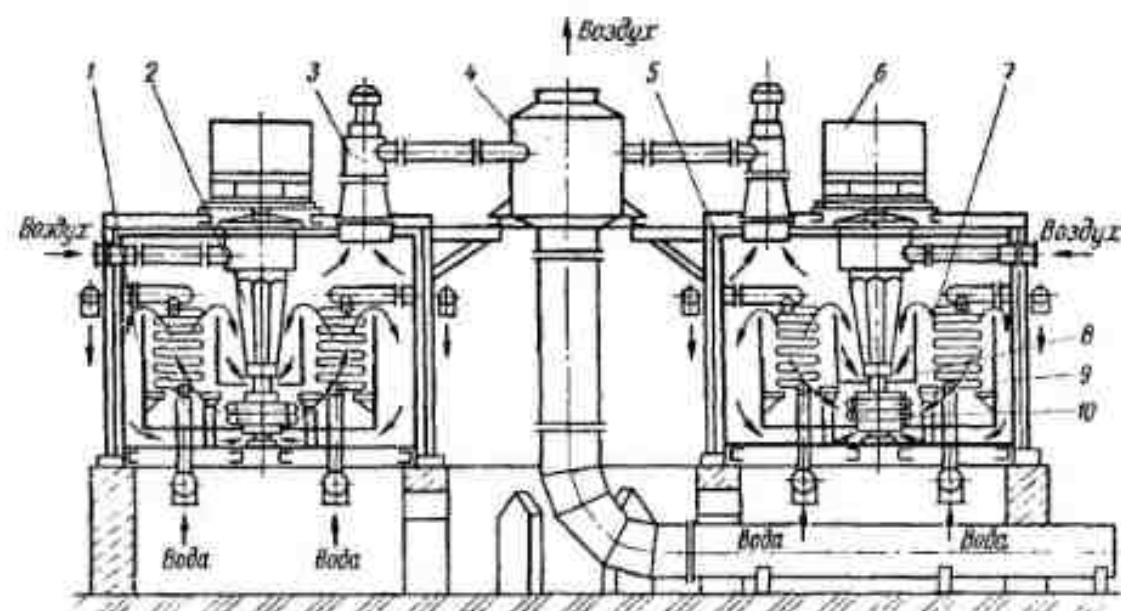


Рис. 9.17. Ферментатор Б-50:

1 — кольцевой канал; 2 — воздуховод; 3 — пеногаситель; 4 — сепаратор; 5 — цилиндр; 6 — привод; 7 — теплообменник; 8 — диффузор; 9 — цилиндрический стакан; 10 — эжекционное устройство

этом он интенсивно смешивается с жидкостью, насыщая ее кислородом.

Для отвода тепла, образующегося при росте дрожжей, ферментатор оборудован змеевиками.

Техническая характеристика ферментатора Б-50

Производительность аппарата по абсолютно сухой биомассе, т/сут	27,0
Производительность аппарата при установке в центре ферментатора 13 секций, т/сут	30,0
Поток жидкости, м ³ /ч	37,5
Емкость, м ³	
полная	800,0
рабочая	320,0
Рабочая температура, °С	32—34
Площадь поверхности теплообмена, м ²	2700—3000
Расход воздуха, м ³ /ч	36 160
Количество аэрирующих устройств	12
Мощность электродвигателя, кВт	315

Дрожжерастильный аппарат АДР-76-900 для выращивания дрожжей на *n*-парафинах. Данная конструкция в настоящее время широко эксплуатируется на заводах по производству БВК. Ферментатор (рис. 9.18) состоит из корпуса 1; периферийного циркуляционного контура 2; центрального диффузора 5; аэрирующих устройств 3, которые установлены в периферийном циркуляционном контуре и центральном диффузоре; теплообменников 7 и каплеотделителя 4. Привод аэрирующих устройств осуществляется от электродвигателей 6.

Подача в аппарат питательной среды, содержащей парафин, минеральные соли, микроэлементы и аммиачную воду, и отвод готового продукта на сепарацию осуществляются через штуцера. Подача воздуха для аэрирования растущей культуры осуществляется путем самовсасывания. Массообмен происходит при прокачивании воздухом среды аэраторами через теплообменники с образованием восходящих и нисходящих потоков.

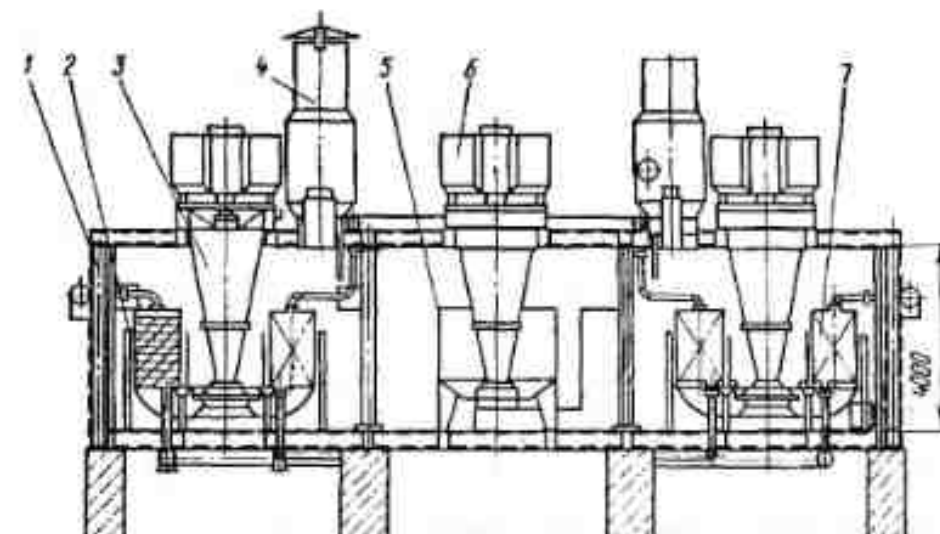


Рис. 9.18. Дрожжерастильный аппарат АДР-76-900

Корпус аппарата изготовлен из двухслойной коррозиестойкой стали, а теплообменники, аэрирующие устройства и перегородки — из монолитной стали.

Техническая характеристика ферментаторов АДР-78-900

Производительность аппарата, т/сут	30—36
Емкость, м ³	
полная	900
рабочая	450
Давление, МПа	0,02
Рабочая температура, °С	32—34
Среда, рН	4,2—4,4
Площадь поверхности теплообмена, м ²	2700
Расход воздуха (при нормальных условиях), м ³ /ч	54 000
Количество аэрирующих устройств	13
Мощность электродвигателя, кВт	315
Габаритные размеры, мм	17 000×17 000×6500
Масса, т	535

К недостаткам ферментаторов с эжекционной системой аэрации относятся вибрация валов аппаратов, загрязнение поверхностей теплообмена и уменьшение коэффициента теплоотдачи.

Однако эти конструкции ферментаторов являются в настоящее время самыми производительными в отечественной промышленности.

9.2.6. Ферментатор с интенсивным массообменом

Данный ферментатор сконструирован сотрудниками ВНИИбиотехники и НИИхиммаша.

Основной целью при конструировании этого аппарата было увеличение концентрации микроорганизмов в культуральной жидкости, улучшение условий аэрации и повышение производительности.

Аппарат (рис. 9.19) представляет собой цилиндрическую емкость 17, внутри которой установлен направляющий цилиндр 2. Концентрично направляющему цилиндру в емкости установлены две обечайки 4 и 18. Обечайка 18 прикреплена к днищу и делит емкость на две камеры: в камере 19 происходит выращивание культуры, а в камере 20 — дополнительная утилизация исходного сырья. Обечайка 4 установлена с зазором у днища емкости. Внутри направляющего цилиндра 2 и в пространстве между стенкой емкости и обечайкой 4 расположены вертикальные коллекторы 16 с прикрепленными к ним пористыми трубами 21.

Пористые трубы укреплены горизонтально в несколько ярусов. В пространстве между направляющим цилиндром 2 и обечайками 18 и 4 установлены теплообменники 1. Для подвода воздуха к вертикальным коллекторам камеры 19 имеется распределительный коллектор 7, а камеры 20 — коллектор 5. В верхней части емкости находится обечайка 14 для приема и осушки пены, внутри которой установлены конические тарелки 15. Вывод воздуха из камеры 19

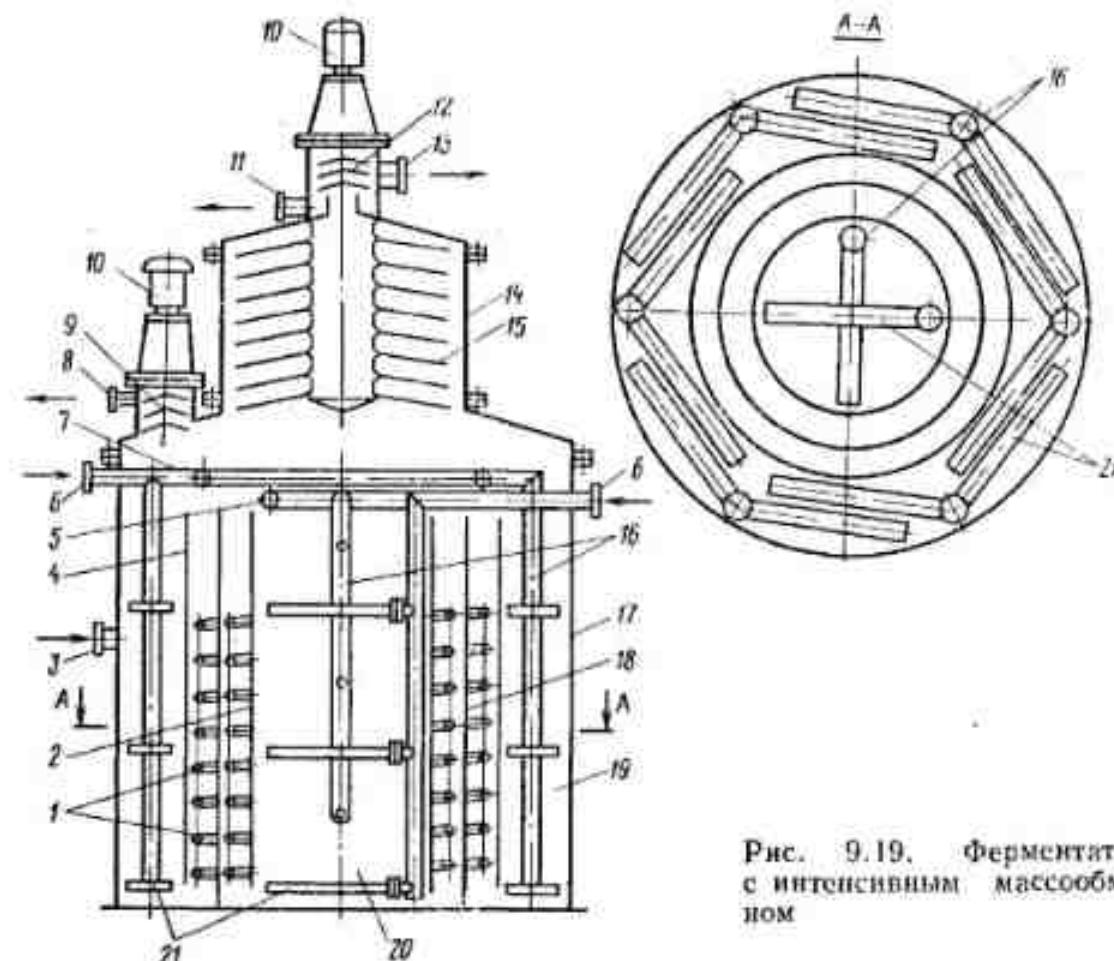


Рис. 9.19. Ферментатор с интенсивным массообменом

осуществляется через газоотделитель 9. Над коническими тарелками 15 расположен механический пеногаситель 12 с электроприводом 10. Питательная среда подается в аппарат через штуцер 3. Подача воздуха в распределительные коллекторы 7 и 5 осуществляется через штуцера 6. Биомасса выводится из аппарата через штуцер 11, а воздух — через штуцера 8 и 13.

Аппарат работает следующим образом. Исходную питательную смесь подают в камеру 19 через штуцер 3, а воздух — в аппарат через штуцеры 6. В камере 19 происходит выращивание биомассы. Циркуляция и перемешивание жидкости осуществляются за счет эрлифта. Из камеры выращивания культуральная жидкость перетекает через обечайку 12 в камеру 20, где происходит дополнительная утилизация сырья. Внутри камер 19 и 20 культуральную жидкость аэрируют с помощью пористых труб. Биомасса из камеры выходит вместе с пенной фазой, образующейся в верхней части камеры. Затем пена поднимается по зазорам между коническими тарелками 15, освобождается от жидкости и концентрируется. Сконцентрированную пену гасят механическим пеногасителем 12 и выводят из аппарата через штуцер 11.

Вывод воздуха из камеры 19 осуществляется с помощью газоотделителей 9 через штуцер 8, а из камеры 20 — через штуцер 13.

Площадь поверхности теплопередачи ферментатора (м^2)

$$F = \frac{Q}{3600 K \Delta t},$$

где K — коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; Δt — средняя разность температур растущей культуры и охлаждающей воды, $^{\circ}\text{C}$.

$$K = \frac{1}{(1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2)},$$

Величина теплоотдачи α_2 для воды определяется в зависимости от критерия Re . Определенные величины теплоотдачи от стенки к растущей среде α_1 усложняются наличием в среде большого количества воздуха, раздробленного на мелкие пузырьки и ухудшающего условие теплоотдачи. Поэтому с определенной погрешностью можно воспользоваться эмпирическим уравнением для определения теплоотдачи от поверхности трубы к разным по плотности и вязкости растворам сахара и мелассы при естественной конвекции:

$$\alpha_1 = 2850 \sqrt[3]{(t_{\text{ж}} - t_{\text{ст}})/\mu},$$

где $t_{\text{ж}}$ и $t_{\text{ст}}$ — температуры растущей культуры и стенки рубашки, $^{\circ}\text{C}$; μ — динамическая вязкость среды, $\text{Па} \cdot \text{с}$.

Вязкость разбавленных мелассных растворов может быть вычислена по формуле

$$\mu = (1,2 + 0,046B - 0,0014Bt) 10^{-3},$$

где B — концентрация раствора, %; t — температура раствора.

На основании опытных данных для ферментаторов, снабженных охлаждающими рубашками, с учетом загрязнения стенок можно принимать $K = 3000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Расход воздуха на аэрирование растущей культуры находится в пределах $60\text{--}120 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^3)$.

Глава 10. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ЖИДКОЙ И ТВЕРДОЙ ФАЗ

Аппараты, в которых осуществляется разделение неоднородных систем в центробежном поле, называются центрифугами и сепараторами. Последние отличаются высоким фактором разделения, развитой поверхностью осаждения, высокой степенью разделения высокодисперсных систем при производительности до $300 \text{ м}^3/\text{ч}$.

В микробиологической промышленности применяют различные типы центрифуг и сепараторов для разделения гетерогенных систем.

10.1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ СУСПЕНЗИЙ

Для отделения балластных частиц из растворов биологически активных веществ, водно-спиртовых растворов от осаждаемого этанолом, ацетоном и другими органическими растворителями активного препарата, биомассы от культуральной жидкости, выделения биологически активного комплекса при его высаливании из растворов, а также для разделения смесей жидкостей или суспензий широко применяются центрифуги.

Грубодисперсные системы часто поддаются разделению под действием силы тяжести. Однако при малой разности плотностей компонентов и большой вязкости неоднородных жидкостей осаждение протекает очень медленно. Поскольку напряженность поля центробежных сил инерции во много раз больше напряженности поля силы тяжести, разделение под действием центробежных сил происходит гораздо быстрее и полнее.

В промышленных установках центробежное разделение применяют для отделения частиц размером от 25 мкм до $0,5 \text{ мкм}$. Установлено, что наименьшая и наибольшая величины частиц амилосубтилина при его осаждении этанолом и последующим разделении на сепараторе составляет $0,098$ и $0,426 \text{ мкм}$.

Метод центрифугирования основан на воздействии центробежного силового поля на неоднородную систему, состоящую из двух и более фаз. Центрифугирование жидких неоднородных систем осуществляется двумя способами: центробежным фильтрованием через перфорированную стенку ротора, на внутренней части которого уложена фильтровальная перегородка (фильтрующие центрифуги), и через отстойные роторы, имеющие сплошную обечайку (отстойные центрифуги). Применяются также комбинированные отстойно-фильтрующие центрифуги, в которых совмещаются оба принципа разделения.

При разделении суспензии в фильтрующих центрифугах в роторе под действием центробежных сил происходит фильтрация

жидкости через фильтровальную ткань или металлическую сетку с одновременным отложением частиц твердой фазы; жидкость же проходит через сито и затем через отверстия в роторе выбрасывается в кожух центрифуги, а осадок выгружается либо во время вращения ротора, либо после его остановки.

При разделении суспензий в отстойных центрифугах твердые частицы, имеющие большую плотность, чем плотность жидкого компонента, осаждаются под действием центробежной силы на обечайке ротора в виде кольцевого слоя. Жидкий компонент также образует кольцевой слой, но ближе к оси вращения. Осветленная жидкость отводится путем перелива через борт или с помощью отсосной трубы; осадок выгружается на ходу или после остановки аппарата. Разделение эмульсии происходит аналогично: у стенок ротора образуется слой тяжелой жидкости, а ближе к оси вращения — слой легкой жидкости.

10.1.1. Классификация центрифуг

Промышленные центрифуги подразделяют:

по принципу разделения — на осадительные, разделяющие (сепарирующие), фильтрующие и комбинированные;

по характеру протекания процесса центрифугирования — периодического и непрерывного действия;

по конструктивному признаку — на горизонтальные (с горизонтальным валом), наклонные (с наклонным валом) и вертикальные. Вертикальные могут быть подвесными с верхним приводом, у которых вал подвешен на верхней шарнирной упругой опоре, а ротор закреплен на нижнем конце вала; маятниковыми с вертикальным валом, опоры которых помещены в общий жесткий корпус, подвешенный на трех колоннах, а ротор закреплен на верхнем конце вала, и маятниковыми с вертикально подвешенным трубчатым ротором;

по способу выгрузки осадка из ротора центрифуги могут быть с выгрузкой осадка через верхний борт или через днище; с ручной выгрузкой; с контейнерной или кассетной, гравитационной, ножевой выгрузкой, пульсирующей с помощью поршня и шнеков.

При производстве биологически активных веществ применяют центрифуги периодического действия с ручной и механизированной выгрузкой осадка, а при крупнотоннажном производстве — автоматизированные центрифуги непрерывного действия. При выборе центрифуг необходимо учитывать их технологические характеристики и физические свойства обрабатываемого материала (дисперсность твердой фазы, вязкость жидкой фазы и ее концентрация).

Концентрация суспензии равна отношению количества твердой фазы к общему количеству суспензии. Концентрация суспензии может быть выражена в массовых (весовых) или объемных процентах. Чем больше разность между плотностями твердой фазы и жидкой, тем выше производительность отстойной центрифуги.

Движущей силой процесса центрифугирования является центробежная сила $P_{ц}$ (Н):

$$P_{ц} = mv^2/R = G\Omega^2 R/g = GR\omega^2/900,$$

где m — масса центрифуги с жидкостью, кг; v — окружная скорость вращения, м/с; R — внутренний радиус барабана, м; G — вес вращающегося тела, Н; ω — частота вращения барабана, мин⁻¹; Ω — угловая скорость вращения барабана, рад/с ($\Omega = \pi\omega/30$); g — ускорение свободного падения, м/с².

Одним из основных критериев для выбора типа центрифуги или сепаратора является фактор разделения, определяющий, во сколько раз ускорение центробежного поля, развиваемое в центрифуге, больше ускорения силы тяжести. Фактор разделения

$$f_p = \Omega^2 R/g \approx \omega^2 R/900.$$

Фактор разделения f_p численно равен центробежной силе, возникающей при вращении тела весом 1 Н. Чем выше фактор разделения, тем выше разделяющая способность центрифуги. С увеличением частоты вращения ротора фактор разделения значительно возрастает. Существенным показателем работы центрифуги является индекс ее производительности

$$\Sigma = F_{ос} f_p,$$

где $F_{ос}$ — площадь цилиндрической поверхности осаждения, м².

10.1.2. Центрифуги вертикальные малолитражные

Отстойная центрифуга периодического действия состоит из корпуса, внутри которого расположен вал с посаженным на него сплошным барабаном, отсосной трубки с механизмом для ее передвижения, тормоза и привода. Рабочий цикл состоит из трех операций: пуск и наполнение суспензией; вращение барабана с постоянной скоростью, при котором происходит разделение суспензии на осадок и фугат, и торможение и разгрузка. После того как незаполненный барабан приобретет некоторую скорость вращения, его наполняют суспензией. По окончании отделения осадка в барабан вводится отсосная труба для удаления осветленной жидкости. Затем центрифугу останавливают и вручную удаляют осадок, образовавшийся на стенках барабана.

К недостаткам этих центрифуг относятся периодичность процесса, низкая производительность, ручная выгрузка осадка и большие потери в процессе разделения (до 5—10 %).

10.1.3. Центрифуги отстойного типа ОВБ-403К-04 и фильтрующие типа ФВБ

Центрифуги этого типа герметизированы, имеют взрывозащищенное электрооборудование и верхнюю ручную выгрузку осадка. Привод центрифуг осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу. Тормоз ленточный автоматический инерционного типа. В центрифугах этих типов предусмотрена блоки-

ровка электродвигателя и крышки кожуха при падении давления инертного газа в полостях кожуха центрифуги ниже 1470 Па. Детали центрифуг, соприкасающиеся с обрабатываемым продуктом, изготовлены из стали 12X18H10T.

В микробиологической промышленности вертикальные малогабаритные центрифуги широко применяются ввиду их герметичности и взрывобезопасности. Они пригодны для многих процессов выделения и очистки небольших количеств биологически активных препаратов. Техническая характеристика этих центрифуг приведена в табл. 10.1.

Таблица 10.1. Техническая характеристика отстойных и фильтрующих центрифуг

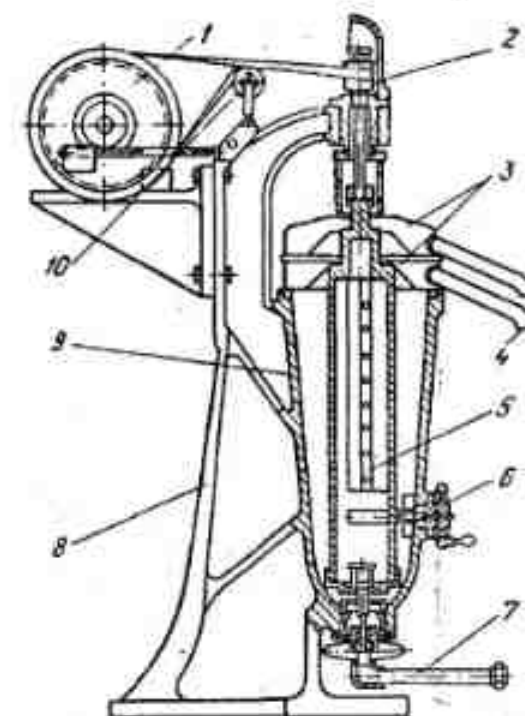
Показатели	ФВБ-303К-04	ОВБ-403К-04; ФВБ-403К-04
Ротор, мм		
внутренний диаметр	300	400
рабочая высота	150	200
Фактор разделения при частоте вращения, мин ⁻¹		
1500	375	500
2440	1000	1300
3460	2000	2680
4250	3000	—
Емкость, м ³	0,05	0,1
Наибольшая загрузка, кг	10	20
Продолжительность, с		
разгона	90	90
торможения	90±30	90±30
Мощность электродвигателя, кВт	3	3
Частота вращения вала, мин ⁻¹	2850	2850
Габаритные размеры, мм	1160×700×765	1160×700×765
Масса, кг	400	420

10.1.4. Центрифуги трубчатые (суперцентрифуги)

Для осветления суспензий, содержащих незначительное количество высокодисперсных твердых примесей, разделения твердых высокодисперсных примесей и стойких эмульсий применяют суперцентрифуги. При осветлении суспензии с содержанием высокодисперсной твердой фазы более 1 % суперцентрифуги работают в периодическом режиме с ручной выгрузкой осадка. При разделении эмульсии суперцентрифуги работают в непрерывном режиме.

Основным конструктивным элементом суперцентрифуг типов ОТР и РТР является трубчатый ротор. Суперцентрифуга (рис. 10.1) установлена на литой чугунной станине 8, служащей одновременно защитным кожухом, и состоит из трубчатого ротора 9, приводной головки 2, эластично соединенной с гибким валом, тормоза и штуцеров для приема и отвода жидкости 4 и 7. Верхний конец ротора через гибкий вал соединен с приводной головкой, а нижний входит

Рис. 10.1. Суперцентрифуга



в свободно сидящую направляющую втулку, что позволяет центру вращения ротора свободно следовать за центром тяжести, так как дно ротора перемещается в положение, соответствующее его центру тяжести. Возможность свободного перемещения снижает до минимума дисбаланс, уменьшает опасность возникновения больших напряжений в подшипниках и устраняет вибрацию, вызываемую нарушением равновесия. Внутри ротора расположена трехлопастная крыльчатка 5, которая сообщает разделяемой жидкости угловую скорость ротора. Нижняя крышка 3 имеет центральное отверстие для приема разделяемой жидкости. Трубчатые суперцентрифуги работают с частотой вращения ротора от 8000 до 45 000 мин⁻¹. Привод центрифуги осуществляется от индивидуального электродвигателя 1, расположенного в верхней части корпуса, через плоскоременную передачу с натяжным устройством в виде прижимного ролика 10.

При работе центрифуги суспензия через сопло питающей трубы подается в нижнюю часть ротора и, вращаясь вместе с ротором, протекает вдоль его стенок в осевом направлении. По мере продвижения вдоль ротора суспензия расслаивается в соответствии с плотностью ее составных частей. При этом из жидкости выделяются твердые частицы, находящиеся во взвешенном состоянии, и осаждаются на стенках ротора, а фугат через верхнее отверстие в головке ротора выводится в сливную камеру, а затем в сборник. Благодаря отсутствию резких изменений направления движения жидкости и турбулентных завихрений устраняется возможность попадания частиц обратно в суспензию. По окончании разделения центрифугу останавливают с помощью тормоза 6, вынимают ротор с осадком, устанавливают запасной и цикл повторяют. Из первого ротора в это время удаляют осадок.

Центрифугирование эмульсий осуществляется следующим образом. Подаваемая по питающей трубе в нижнюю часть ротора эмульсия по мере продвижения вверх разделяется на тяжелый и легкий компоненты. Тяжелый компонент проходит через отверстия в головке, расположенные у стенки ротора, поступает в нижнюю сливную тарелку и через патрубок выводится из центрифуги.

Детали центрифуги, соприкасающиеся с обрабатываемым продуктом, изготовляют из стали марок 12X18H10T и 20X13. Внут-

рениия полость чугуной станины покрыта износостойкой краской. Суперцентрифуги компактны, удобны в эксплуатации и имеют большое число оборотов при малом диаметре ротора (табл. 10.2).

Таблица 10.2. Техническая характеристика суперцентрифуг

Показатели	ОТР-101К-1; РТР-101К-1	ОТР-151К-1; РТР-151К-1
Внутренний диаметр ротора, мм	105	150
Максимальная частота вращения ротора, мин ⁻¹	15 000	13 530
Максимальный фактор разделения	13 200	15 250
Максимальная нагрузка, кг	10	20
Мощность электродвигателя, кВт	2,2	7,5
Габаритные размеры центрифуги с электродвигателем, мм	850×730×1720	1070×740×2050
Масса, кг	560	850

При увеличении частоты вращения ротора с одновременным уменьшением во столько же раз его диаметра окружная скорость и напряжения в стенках остаются постоянными, тогда как центробежная сила значительно возрастает. Фактор разделения для суперцентрифуг составляет 12 000—51 000.

К недостаткам суперцентрифуг относятся: периодичность работы, необходимость частой разборки и сборки, ручная выгрузка осадка и промывка ротора, наличие ременной передачи.

10.1.5. Центрифуги осадительные горизонтальные со шнековой выгрузкой осадка типа ОГШ

Центрифуги типа ОГШ применяются для разделения суспензий с объемным содержанием твердой фазы от 1 до 40 %, размером частиц свыше 2—5 мкм и разностью плотностей твердой и жидкой фаз более 200 кг/м³. По технологическому назначению центрифуги подразделяют на три группы: осветляющие и классифицирующие, универсальные осадительные и обезвоживающие осадительные.

Осветляющие центрифуги применяются для очистки малоконцентрированной суспензии с высокодисперсной твердой фазой для предварительной очистки суспензии от частиц размером более 5 мкм перед их подачей на тарельчатые сепараторы и суперцентрифуги, а также для снижения концентрации твердой фазы в суспензии. Осветляющие и классифицирующие центрифуги имеют фактор разделения более 2500 и отношение рабочей длины ротора к диаметру 1,6—2,2.

Универсальные осадительные центрифуги применяют для разделения суспензий с малой и средней концентрацией твердой фазы. При этом получают чистый фугат и осадок небольшой влажности. Фактор разделения равен 2000—3000, отношение рабочей длины ротора к диаметру 1,6—2,2.

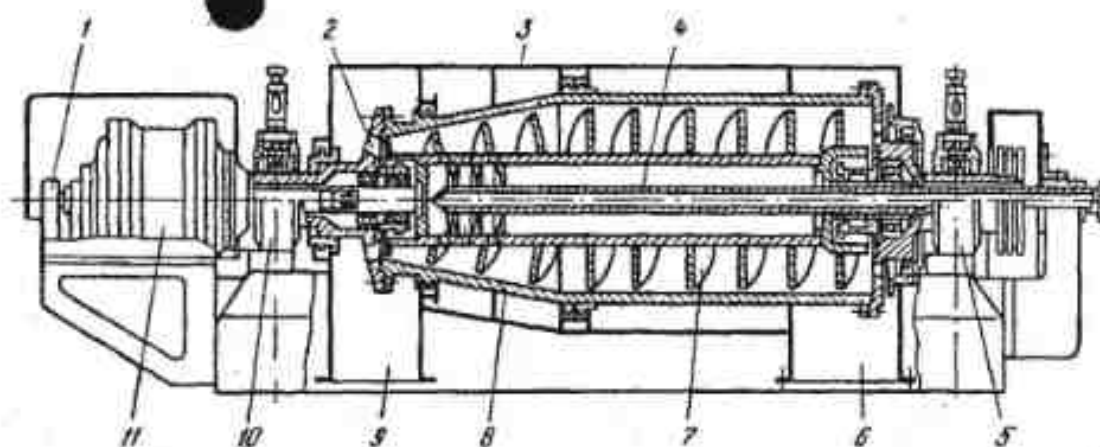


Рис. 10.2. Центрифуга типа ОГШ:

1 — защитное устройство, отключающее центрифугу при перегрузке; 2 — выгрузочное окно; 3 — кожух с внутренними перегородками; 4 — питающая труба; 5, 10 — опоры ротора; 6 — камера для отвода фугата; 7 — шнек; 8 — цилиндрический ротор; 9 — камера для выгрузки осадка; 11 — редуктор

Обезвоживающие осадительные центрифуги применяют для разделения высококонцентрированных грубых суспензий. Они имеют большую производительность по осадку, причем осадок получается со сравнительно небольшой влажностью. Фактор разделения менее 2000, отношение рабочей длины ротора к диаметру не более 2.

Центрифуги типа ОГШ (рис. 10.2) имеют горизонтально расположенный цилиндрический ротор 8, внутри которого установлен шнек 7. Шнек и ротор вращаются в одном направлении, но с различными частотами, за счет чего шнек транспортирует осадок вдоль ротора к выгрузочным окнам 2, расположенным в узкой части ротора. Ротор крепится на двух опорах 5 и 10 и приводится во вращение от электродвигателя через клиноременную передачу. Привод шнека осуществляется от ротора центрифуги через редуктор 11. Ротор закрыт кожухом с перегородками 3, отделяющими камеры для выгрузки осадка 9 от камеры для отвода фугата 6. В случае перегрузки защитное устройство 1 выключает центрифугу с одновременной подачей светового и звукового сигналов. Суспензия при работе центрифуги подается по питающей трубе 4 во внутреннюю полость шнека, откуда через окна поступает в ротор. Под действием центробежной силы суспензия разделяется и на стенках ротора осаждаются частицы твердой фазы. Осветленная жидкость поступает к сливным окнам, переливается через сливной порог и удаляется из ротора. Диаметр сливного порога регулируется сменными заслонками или поворотными шайбами. Техническая характеристика центрифуг типа ОГШ приведена в табл. 10.3.

Работа центрифуги регулируется частотой вращения ротора путем замены шкивов, изменением скорости подачи суспензии, а также величины диаметра сливного порога.

Таблица 10.3. Техническая характеристика герметизированных центрифуг типа ОГШ

Показатели	202К-3 и 202К-5	321К-5	352К-3
Максимальный внутренний диаметр ротора, мм	200	325	350
Максимальная частота вращения ротора, мин ⁻¹	6000	3500	4000
Максимальный фактор разделения	4000	2230	3140
Отношение рабочей длины ротора к диаметру	3	1,66	2,85
Мощность электродвигателя, кВт	5,5	7,5	30
Габаритные размеры, мм	1455×1080×740	1560×970×650	2530×1850×1075
Масса, кг	637	660	2240

Продолжение табл. 10.3

Показатели	352К-5 и 352К-6	501К-6 и 502К-4	802К-4
Максимальный внутренний диаметр ротора, мм	350	500	800
Максимальная частота вращения ротора, мин ⁻¹	4000	2650	1850
Максимальный фактор разделения	3140	1960	1500
Отношение рабочей длины ротора к диаметру	1,8	1,86	1,61
Мощность электродвигателя, кВт	22	30	75
Габаритные размеры, мм	2160×1850×1075	2585×2200×1080	3950×2660×1370
Масса, кг	1550	3400	7835

10.1.6. Центрифуги автоматизированные осадительные с ножевой выгрузкой осадка ОГН 903К-1 и 2003К-1

Для разделения плохо фильтрующихся суспензий с мелкозернистой нерастворимой твердой фазой и объемной концентрацией 10 % при размере частиц 5—40 мкм успешно применяются герметизированные осадительные центрифуги с ножевой выгрузкой осадка. Центрифуги типа ОГН (рис. 10.3) имеют горизонтально расположенный ротор, закрепленный в подшипниках качения. На

Таблица 10.4. Техническая характеристика центрифуг ОГН

Показатели	903К-1	2003К-1
Внутренний диаметр ротора, мм	900	2000
Максимальная частота вращения ротора, мин ⁻¹	1700	760
Максимальный фактор разделения	1450	640
Вместимость, м ³	0,3	1,25
Максимальная загрузка, кг	150	1500
Мощность электродвигателя, кВт	30	75
Габаритные размеры, мм	3180×370×2100	4200×4660×4550
Масса, кг	9593	19 300

передней крышке центрифуги смонтированы питающая труба, механизм среза осадка, разгрузочный бункер, регулятор уровня слоя загрузки и переключения хода ножа. Центрифуга снабжена механизмом отвода осветленной жидкости, состоящим из отводящей трубы с силовым гидроцилиндром и дросселем для регулирования скорости поворота отводящей трубы.

Суспензию можно разделять двумя способами. Первый заключается в том, что суспензия подается в ротор до его заполнения. Затем смесь разделяют, отводят твердую фазу через отводящую трубу, а затем отводят осветленную жидкую фазу. По достижении заданного уровня осадка подача суспензии автоматически прекращается, после чего осуществляется отжим. Отжатый осадок срезается поступательно движущимся или поворотным ножом и через бункер выгружается из центрифуги.

Второй способ работы осадительной центрифуги состоит в следующем. Суспензия подается в ротор непрерывно. Твердая фаза накапливается в роторе, а осветленная жидкая фаза переливается через борт и выводится из центрифуги. Питание центрифуги продолжается до заполнения ротора осадком. Оставшаяся жидкая фаза через отводящую трубу выводится из ротора.

При разделении взрывоопасных продуктов в кожух центрифуги подают инертный газ.

10.1.7. Центрифуги фильтрующие и осадительные подвесные с верхним приводом типов ФПН и ОПН

Эти центрифуги применяются для обработки суспензий с растворимой и нерастворимой твердой фазой, в частности, для обработки аскорбиновой кислоты. Осадок в этих центрифугах срезается ножом при снижении частоты вращения ротора.

Общими конструктивными элементами подвесных центрифуг являются вертикально расположенные ротор и вал веретена, верхний конец которого подвешен к шаровой опоре. Шаровая опора расположена значительно выше центра тяжести вращающейся системы

Центрифуга ОПН оснащена паровой рубашкой для обогрева. Загрузка осадительного ротора осуществляется непрерывно при наибольшей скорости вращения через питающую трубу с соплом. Фугат отводится из ротора непрерывно через подвижную отводящую трубу, а осадок при достижении максимальной толщины слоя периодически выгружают ножом в бункер при снижении частоты вращения ротора до 100 мин^{-1} .

Техническая характеристика центрифуги типа ОПН-10054-1

Внутренний диаметр ротора, мм	1000
Максимальная частота вращения, мин^{-1}	1500
Максимальный фактор разделения	1250
Вместимость, м^3	0,215
Максимальная загрузка, кг	320
Габаритные размеры, мм	2000×1380×4200
Масса, кг	2700

10.1.8. Центрифуги фильтрующие горизонтальные с пульсирующей выгрузкой осадка типа ФГП

Центрифуги типа ФГП применяются для разделения суспензий с преимущественно растворимой твердой фазой, имеющей величину частиц более 100 мкм. Оптимальная объемная концентрация твердой фазы в суспензии, поступающей в центрифугу, 40–50 %, при более низкой концентрации необходимо предварительное сгущение суспензии. На центрифугах этого типа производится эффективная промывка осадка и обеспечивается раздельный отвод фильтрата и промывных вод.

Основным конструктивным элементом является двухкаскадный консольно расположенный ротор с подвижным толкателем. Ротор состоит из обечаек, на которых закреплены щелевые колосниковые сита. К ротору подведены питающая и промывная трубы, закрепленные на кожухе. Второй каскад ротора закреплен на полом вала, внутри которого на бронзовых втулках перемещается шток. На одном конце штока закреплен первый каскад ротора, на другом — гидроцилиндр. Привод ротора осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу. В средней части кожуха имеются отверстия для отвода фильтрата и газов.

Вал, привод, торцевая муфта и система подачи масла расположены на станине. В нижней части станины расположена ванна со змеевиком для охлаждения масла. Циркуляционная смазка подшипников осуществляется от маслососной станции, состоящей из насоса, фильтра, предохранительного клапана и вентиля, регулирующего поступление масла в гидроцилиндр. С помощью гидроцилиндра шток с первым каскадом ротора совершает возвратно-поступательное движение.

При работе центрифуги суспензия по питающей трубе и приемному конусу подается в ротор. Фильтрат проходит через сито ротора и выводится из кожуха. Слой осадка, образовавшегося на поверхности сита первого каскада при его обратном ходе (вправо), сбрасывается кольцом на сито второго каскада. Затем эти опера-

ции повторяются. Толщина слоя осадка устанавливается уравнительным кольцом. Число пульсаций регулируют изменением количества масла, поступающего в гидроцилиндр из масляной ванны.

10.1.9. Центрифуга типа ФПД

Центрифуга типа ФПД используется для разделения суспензий, обезвоженная твердая фаза которых не может быть выделена механизированным способом. Выгрузка осадка в них осуществляется

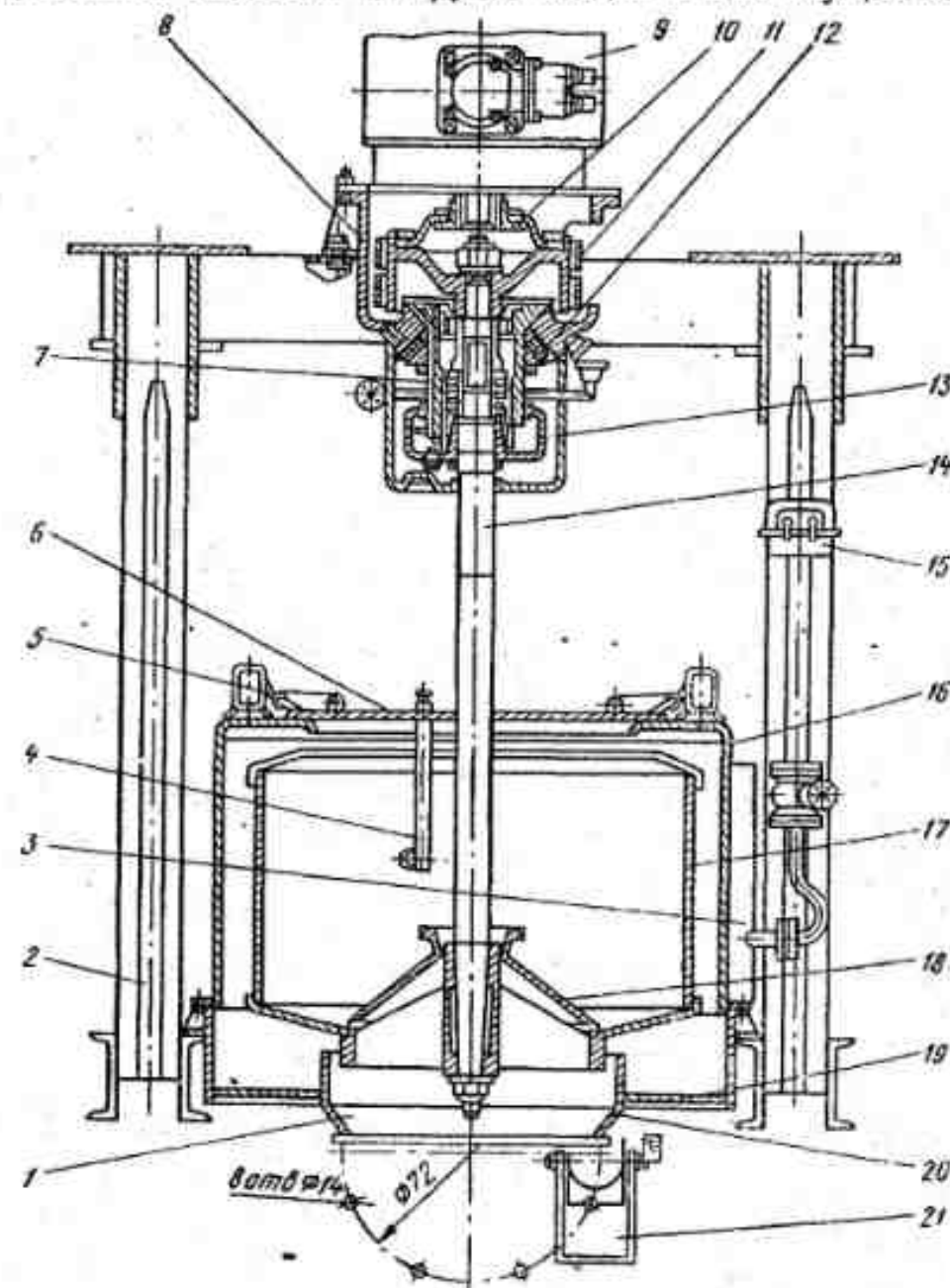


Рис. 10.4. Центрифуга типа ФПД-120 (ПМ-1200):

1 — нижний штуцер кожуха; 2 — опорные стойки; 3 — устройство для пропарки; 4 — промывное устройство; 5 — блокировочное устройство крышки; 6 — крышка кожуха; 7 — корпус подшипников; 8 — корпус привода; 9 — электродвигатель; 10 — резиновая муфта; 11 — ленточный тормоз; 12 — резиновый амортизатор; 13 — корпус привода; 14 — вал; 15 — ключ управления; 16 — кожух; 17 — ротор; 18 — запорный конус; 19 — днище кожуха; 20 — спускной штуцер; 21 — сегрегатор

через днище ротора. Окна для выгрузки осадка закрываются запорным конусом или перекрываются распределительным диском.

Суспензия загружается при закрытой верхней крышке кожуха (рис. 10.4) при частоте вращения ротора 333 мин^{-1} , опущенном запорном конусе и подается на распределительный диск или запорный конус, что способствует равномерному распределению ее в роторе. После выгрузки частоту вращения ротора увеличивают до 1000 мин^{-1} . По окончании процессов отжима и промывки осадка центрифугу останавливают, поднимают запорный конус и осадок выгружают через днище ротора. Максимальная загрузка центрифуги 450 кг при максимальном факторе разделения 670.

10.1.10. Центрифуги во взрывозащищенном исполнении

При производстве биологически активных веществ на стадиях выделения часто применяют органические растворители, поэтому разделение таких систем необходимо производить на центрифугах, изготовленных во взрывозащищенном исполнении, с поддувом инертного газа. Наиболее широко используются центрифуги типов ОГШ, ФГН и ФМБ.

Центрифуги ОГШ-353К-2 и 353К-9 изготовлены из нержавеющей стали 12Х18Н10Т и пригодны для разделения огне- и взрывоопасных суспензий.

Техническая характеристика центрифуг ОГШ для разделения огне- и взрывоопасных суспензий

Внутренний диаметр ротора, мм	350
Максимальная частота вращения, мин^{-1}	3600
Максимальный фактор разделения	2500
Отношение рабочей длины ротора к диаметру	2,85
Давление инертного газа в кожухе центрифуги, Па	4900
Мощность электродвигателя, кВт	30
Габаритные размеры, мм	$2530 \times 1850 \times 1076$
Масса, кг	2500

Автоматические центрифуги типа ФГН-1254К-7 используются для отделения биологически активных веществ, осажденных органическими растворителями. Они применяются для разделения суспензий в широком интервале дисперсности и концентрации твердой фазы с частицами различного размера. Центрифуги работают под давлением 3,8 кПа с поддувом инертного газа.

Центрифуга ФГН-1254К-7 (рис. 10.5) установлена на чугунной станине и состоит из кожуха, узла главного вала и гидромотора. Внутри кожуха расположен ротор 8, установленный на главном валу, который приводится в движение от электродвигателя через клиноременную передачу. Кожух плотно закрывается передней крышкой 6, шарнирно закрепленной на станине. В верхней части кожуха расположены патрубки для отсоса паров и поддува инертного газа, а в нижней — патрубки для отвода фугата и клапан для раздельного отвода промывной жидкости.

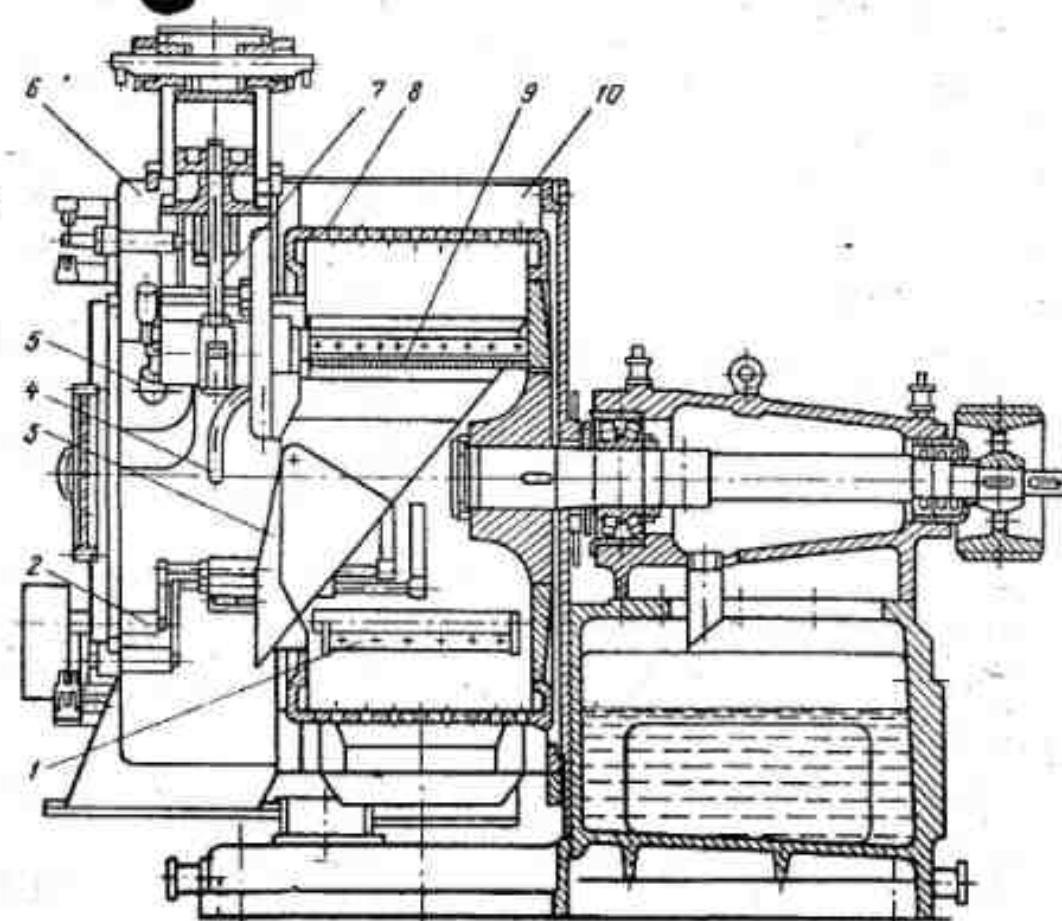


Рис. 10.5. Центрифуга типа ФГН-1254К-7 автоматическая во взрывозащищенном исполнении:

1 — труба питания; 2 — регулятор уровня осадка; 3 — разгрузочный бункер; 4 — трубчатый коллектор; 5 — механизм регенерации сит; 6 — передняя крышка; 7 — механизм загрузки осадка; 8 — ротор; 9 — щетки; 10 — задняя полость кожуха

На крышке установлены поворотный нож, регулятор загрузки ротора и патрубки для промывки осадка и фильтрующих сит. К трубе загрузки присоединены загрузочный клапан и указатель движения суспензии, а к промывной трубе — промывной клапан и клапан промывки сит. Частота вращения ротора при промывке равна $70-80 \text{ мин}^{-1}$ и обеспечивается дополнительным приводом, состоящим из гидропривода обгонной муфты и маслососной станции. Пуск дополнительного привода осуществляется ключом на пульте управления после выключения основного привода. Суспензия подается в ротор через загрузочный клапан и регулируется с помощью регулятора загрузки. После отделения жидкой фазы от твердого продукта можно проводить промывку продукта жидкостью, подаваемой через промывной клапан и промывную трубу. Осадок срезается ножом механизма среза и поступает через лоток в приемный бункер.

Продолжительность операции фильтрования, отжима, промывания и регенерации сит определяется с помощью реле времени на пульте управления.

Таблица 10.5. Техническая характеристика автоматических центрифуг во взрывозащищенном исполнении

Показатели	ФГН-1251К-7	ФГН-633К-2
Внутренний диаметр ротора, мм	1250	630
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	1000	2390
Максимальный фактор разделения	710	2000
Максимальная загрузка, кг	400	40
Мощность электродвигателей, кВт:		
центрифуги	40	20
насосной станции	2,2	0,6
Габаритные размеры, мм	4560 × 3650 × 3090	3130 × 1965 × 1570
Масса, кг	6730	1352

Центрифуга типа ФМБ-603-2 представляет собой взрывозащищенный герметизированный аппарат периодического действия с электродвигателем, расположенным соосно с валом ротора. Все основные узлы центрифуги смонтированы на станине, подвешенной с помощью опорных тяг на трех колоннах. Вращение ротора осуществляется от электродвигателя через пусковую центробежную муфту и вал. Для быстрой и плавной остановки ротора центрифуга снабжена автоматическим тормозом. Крышка кожуха и механизм ее прижима блокированы, и она может открываться только после полной остановки.

Суспензия подается по трубе через зажимающее устройство, регулирующее количество подаваемой суспензии и ее равномерное распределение. Вместимость ротора 0,08 м³, максимальная загрузка 100 кг. Рабочее давление инертного газа 2,94 кПа. Максимальная частота вращения ротора 1450 мин⁻¹, максимальный фактор разделения 945. Мощность электродвигателя 5,5 кВт. Габаритные размеры 1375 × 1415 × 1635 мм. Материал деталей и узлов, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом, — углеродистая сталь с пенопластовым покрытием. Центрифуга снабжена пультом управления.

10.2. СЕПАРАТОРЫ

Разделение систем на фракции, обладающие различной плотностью, наиболее эффективно осуществляется при сепарировании. Сепарирование нашло широкое применение при концентрировании кормовых и хлебопекарных дрожжей, при разделении эмульсий и осветлении растворов биологически активных веществ перед концентрированием в выпарных аппаратах и ультрафильтрационных установках. Применение сепараторов позволяет обрабатывать большие объемы труднофильтруемых суспензий, интенсифицировать выделение и концентрирование микроорганизмов и твердых частиц размером более 0,5 мкм.

Движущей силой процесса является центробежная сила. Скорость осаждения частиц в сепараторе (м/с)

$$v_c = \frac{d^2 \omega^2 R (\rho_T - \rho_{ж})}{18 \mu \cdot 900},$$

где d — диаметр твердых частиц, м; ω — частота вращения барабана, мин⁻¹; R — радиус барабана, м; ρ_T — плотность твердой фазы, кг/м³; $\rho_{ж}$ — плотность жидкой фазы, кг/м³; μ — динамическая вязкость, Па·с.

Производительность сепаратора (м³/с)

$$P = \frac{\eta_0 k_{\text{конц}}}{27} 4\pi \Omega^2 i \operatorname{tg} \varphi (R_{\text{max}}^3 - R_{\text{min}}^3) \cdot r^2 \frac{\rho_1 - \rho_2}{\mu} \frac{z_k}{z_k - z_n},$$

где η_0 — КПД барабана сепаратора (принимается равным 0,25); $k_{\text{конц}}$ — коэффициент концентрации, учитывающий влияние содержания дрожжевых клеток в исходной суспензии на процесс; Ω — угловая скорость барабана, рад/с; i — количество тарелок; φ — угол наклона образующей конуса тарелки, град ($\varphi = 45 \div 60^\circ$); R_{max} и R_{min} — максимальный и минимальный радиусы тарелки, м; ρ_1 и ρ_2 — плотности твердой фазы и среды, кг/м³; μ — динамическая вязкость дисперсной системы, Па·с; r — радиус твердых частиц, м; z_n и z_k — объемные доли твердых частиц (дрожжевых клеток) в исходной суспензии и концентрате, %.

Эффективность сепарирования пропорциональна частоте вращения барабана, его диаметру, размеру частиц, разности плотностей твердой и жидкой фаз. При увеличении вязкости среды снижается эффективность сепарирования.

По технологическому назначению жидкостные центробежные сепараторы делят на пять типов:

разделители для разделения двух взаимно нерастворимых жидкостей (например, вода и парафин) с одновременным выделением взвешенного компонента из жидкости;

очистители для выделения взвешенного компонента (клеток микробиологических суспензий) из жидкости;

очистители-разделители для работы в качестве очистителей и разделителей в зависимости от сборки ротора;

сгустители для повышения концентрации взвешенных или коллоидных компонентов микробиологических суспензий с одновременным разделением продукта в случае эмульсии;

классификаторы для классификации взвешенных компонентов суспензии по размеру или плотности частиц.

По способу удаления осадка из ротора сепараторы делятся на сепараторы с центробежной пульсирующей выгрузкой (саморазгружающиеся), сепараторы с центробежной непрерывной выгрузкой осадка (сопловые) и сепараторы с ручной выгрузкой осадка при остановке ротора.

Производительность сепаратора зависит от физико-химических свойств обрабатываемого продукта, а также от требуемой степени сгущения.

Фактор разделения сепаратора зависит от конструктивных показателей и вычисляется по формуле

$$f_p = i \Omega^2 \operatorname{tg} \varphi (R_{\text{max}}^3 - R_{\text{min}}^3).$$

где i — число тарелок; Ω — угловая скорость барабана, рад/с; φ — угол наклона образующей тарелки к горизонту, град; $R_{\max}$ и $R_{\min}$ — максимальный и минимальный радиусы тарелки, м.

10.2.1. Сепараторы-осветлители

Сепараторы-осветлители тарелочного типа применяются в микробиологической промышленности для осветления жидкостей и разделения смесей жидкостей или суспензий.

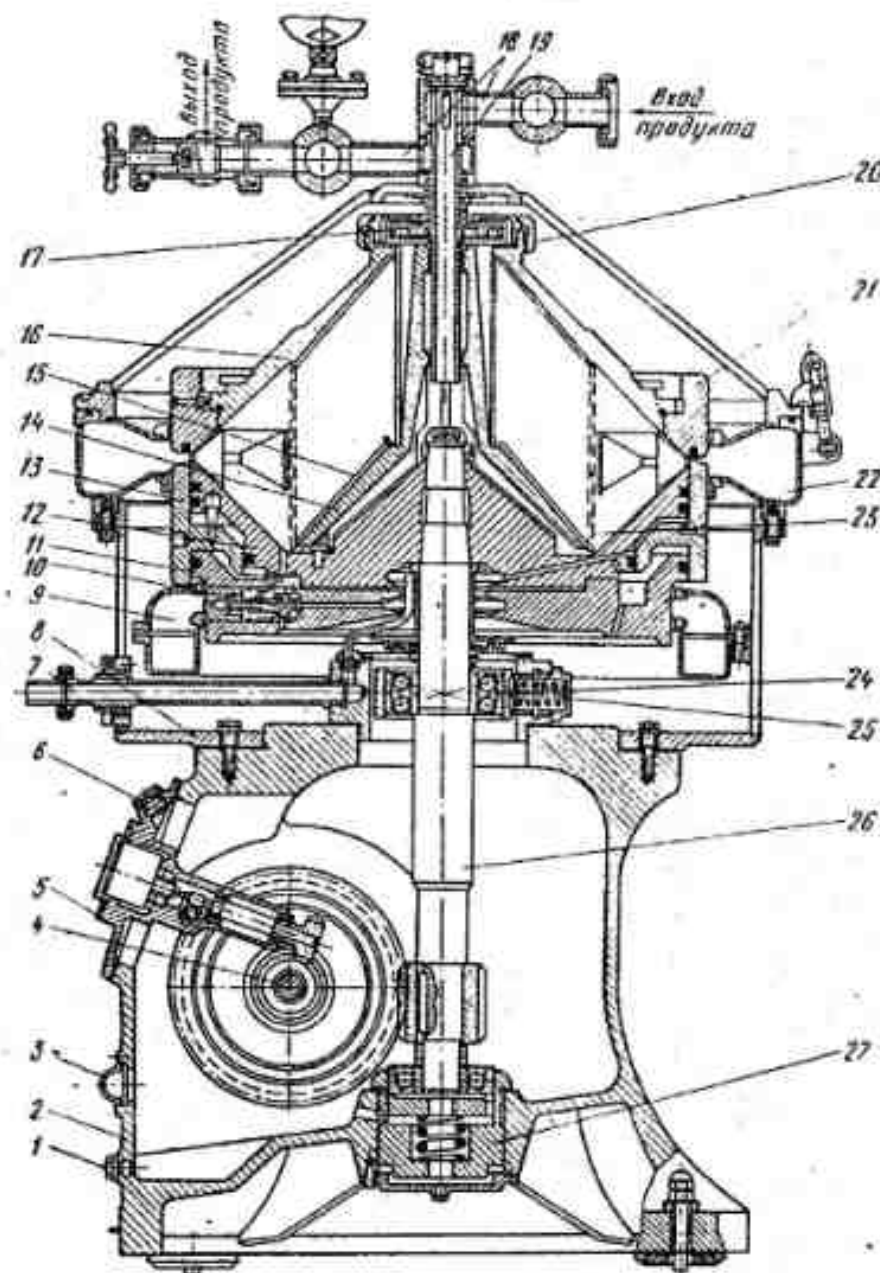


Рис. 10.6. Сепаратор типа АСЭ-Б:

1, 6 — пробки; 2 — станина; 3 — указатель уровня масла; 4 — вал горизонтальный; 5 — тахометр; 7 — гидроузел; 8 — чаша; 9 — приемник; 10 — клапаны; 11 — корпус барабана; 12 — основание барабана; 13 — поршень; 14 — тарелкодержатель; 15 — тарелки; 16 — крышка барабана; 17 — напорный диск; 18 — приемно-выводное устройство; 19 — труба центральная; 20, 21 — кольца затяжные; 22 — приемник шлама; 23 — шламное пространство; 24 — подшипник верхней опоры; 25 — пружины верхней опоры; 26 — вал вертикальный; 27 — опоры

К ним относятся герметичные сепараторы типов АСЭ-Б, ОДЛ-637, АСЭ с центробежной пульсирующей выгрузкой осадка, которые изготавливаются полузакрытыми.

Сепаратор типа АСЭ-Б (рис. 10.6) состоит из станины 2 с приводным механизмом, барабана с клапаном для слива межтарелочной жидкости, приемно-выводного устройства 18, гидроузла 7 и тормоза. Внутри корпуса сепаратора размещены приводной механизм, тахометр 5, тормоз и гидроузел. В верхней части корпуса расположена чаша 8, внутри которой установлен приемник 9 для межтарелочной жидкости. Чаша снабжена двумя штуцерами для ввода и вывода охлаждающей жидкости в процессе сепарирования. Барабан является основным рабочим органом, в котором под действием центробежной силы в межтарелочном пространстве происходит выделение взвешенных частиц из культуральной жидкости. В корпусе 11 барабана расположены тарелкодержатель 14, комплект тарелок 15, поршень 13 и клапаны 10. Гидроузел для управления закрытием, разгрузкой барабана и открытием клапанов расположен на чаше.

Во вращение барабан приводится от индивидуального электродвигателя. Электродвигатель соединен с горизонтальным валом 4 через муфту, вследствие чего сглаживаются резкие изменения крутящего момента. Постоянная и плавная передача вращения достигается с помощью фрикционно-центробежной муфты.

Культуральная жидкость по центральной питающей трубе 19 поступает во внутреннюю полость тарелкодержателя, а затем — в шламное пространство 23 барабана. Под действием центробежной силы наиболее крупные и тяжелые частицы биомассы отбрасываются к периферии барабана, а жидкость с более мелкими частицами биомассы направляется в пакет конических тарелок. Тонкослойность и ламинарность потока обеспечивает выделение мельчайших частиц биомассы в межтарелочном пространстве на внутренних поверхностях тарелок.

Осветленная жидкость — фугат — поднимается по наружным каналам тарелкодержателя в камеру напорного диска 17 и выводится из барабана, а выделенные частицы биомассы соскальзывают по поверхности тарелок в шламное пространство барабана. При полном заполнении шламного пространства биомассой подачу культуральной жидкости прекращают и с помощью двух клапанных механизмов сливают фугат из межтарелочного пространства в приемник. Биомассу с помощью механизма разгрузки выбрасывают в приемник шлама 22. После прекращения подачи буферной воды в полость над поршнем барабан закрывают и технологический цикл повторяется.

Для герметизации шламного пространства в центробежных сепараторах с пульсирующей выгрузкой осадка необходимо создать перепад давления между жидкостью внутри барабана и давлением подведенного элемента на уплотняющую поверхность. Для этого можно использовать вспомогательную буферную жидкость, фугат, воздух, а также пружины или другие упругие элементы.

Диаметр барабана 600 мм, межтарелочный зазор 0,5 мм, частота вращения барабана 5000 мин⁻¹.

Техническая характеристика сепараторов с центробежной пульсирующей выгрузкой осадка

Показатели	АСЭБ	ВСЛ	ФЕВ
Производительность, л/ч	2000	2000	1600
Число тарелок	135—155	100	91
Объем шламового пространства, л	16	9	—
Мощность электродвигателя, кВт	13	14	14
Габаритные размеры, мм	1450×1070×1560	1560×1160×1870	1245×1090×1520
Масса, кг	1440	1412	1122

10.2.2. Сепараторы с центробежной непрерывной выгрузкой осадка

Для разделения дрожжевых суспензий в микробиологической промышленности применяют сепаратор типа СОС-501К-3. Это негерметизированный тарельчатый сепаратор-сгуститель с центробежной непрерывной сопловой выгрузкой осадка и свободным сливом жидкого компонента.

Сепаратор (рис. 10.7) состоит из станины 1 с приводным механизмом, барабана 2 с тарелками и валом, сборника дрожжевого концентрата 4 и патрубка для отработавшей культуральной жидкости 3. Привод сепаратора осуществляется от индивидуального электродвигателя через фрикционную центробежную муфту и быстроходную винтовую пару. Барабан свободно насажен на вал-веретено и закреплен в прорези вала поводком, благодаря чему обеспечивается самоцентрирование барабана. Внутри барабана расположены конические тарелки с ребрами на внешней поверхности, расстояние между ними равно 0,8 мм. Крепление пакета тарелок в барабане производится на тарелкодержателе с помощью крестовины и дискодержателя запорной кольцевой гайкой. В нижней части корпуса по окружности расположены сквозные каналы, к которым подведены трубки для отвода дрожжевого концентрата.

Дрожжевая суспензия поступает через распределительную трубу во внутреннюю полость тарелкодержателя, где с помощью ребер ей сообщается вращательное движение. Суспензия проходит между тарелкодержателем и основанием барабана. Под действием центробежной силы наиболее крупные дрожжевые клетки и случайные механические примеси отбрасываются к периферии барабана. Из дрожжевой камеры суспензия попадает в пакет конических тарелок и в ламинарном режиме растекается равномерным тонким слоем. Под действием центробежной силы дрожжевые клетки, имея большую плотность по сравнению с жидкой фазой, оседают на внутреннюю поверхность тарелок и перемещаются по ней в шламовое пространство барабана. Через наружные мунштуки дрожжевой концентрат поступает в сборник.

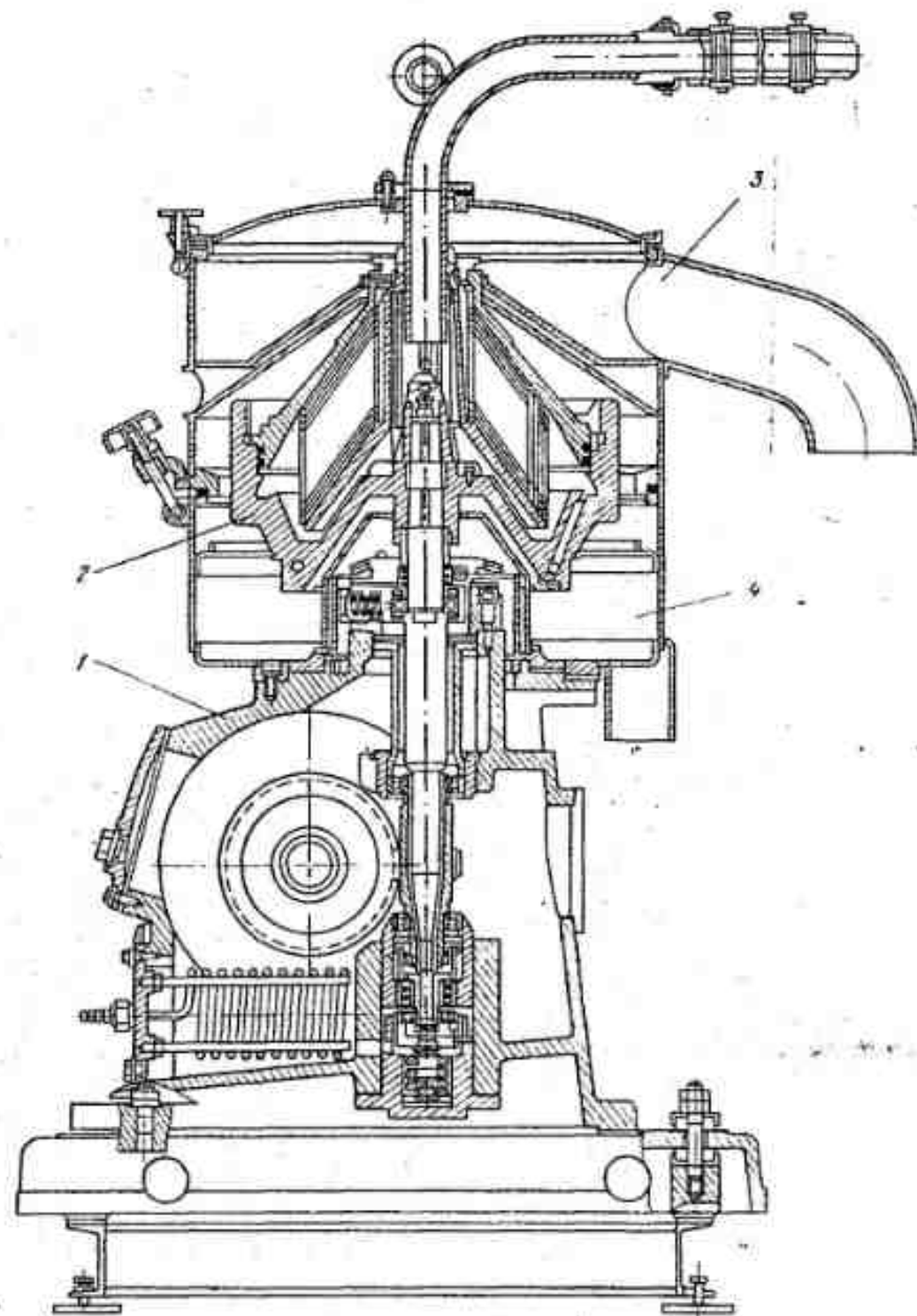


Рис. 10.7. Сепаратор СОС-501К-3

Концентрацию дрожжей в сгущенной суспензии можно регулировать изменением диаметра отверстий в мундштуках, однако отношение диаметров отверстий внутренних и внешних мундштуков должно быть не менее 1 : 1,7. При уменьшении количества рабочих мундштуков степень сгущения дрожжевой суспензии увеличивается, при этом уменьшается производительность сепаратора.

Отсепарированная жидкость, пройдя через пакет тарелок, поднимается вдоль наружной поверхности тарелкодержателя и попадает в камеру, из которой выводится напорным диском.

Степень сгущения суспензии зависит от концентрации дрожжей в исходной суспензии. При концентрации дрожжей 75 %-ной влажности, равной 20—30 г/л, степень сгущения составляет 8—10, а при концентрации 80—120 г/л — 5—6. Сгущение суспензии до содержания дрожжей 550—600 г/л осуществляется в 2—3 ступени последовательного сепарирования. Осадок должен быть достаточно пластичным, чтобы он мог вытекать из сопел, не забивая их и не образуя сводов внутри ротора. В связи с этим на работу сепараторов положительно влияет предварительная фильтрация через сетчатые фильтры, при которой суспензия освобождается также от механических примесей, засоряющих межтарелочное пространство и отверстия в мундштуках. Использование сепараторов данного типа для получения осадка с минимальной влажностью нецелесообразно.

В последние годы за рубежом изготавливаются сепараторы для концентрирования кормовых дрожжей и других микробиологических продуктов производительностью до 200 000 л/ч (тип FEUX), в которых барабан снабжен напорной трубкой для выгрузки твердых частиц под давлением. Под действием центробежных сил в вертикальном наборе конических тарелок барабана суспензия разделяется на твердые частицы и жидкую фазу. Концентрат с тяжелыми

Таблица 10.6. Техническая характеристика сепараторов для концентрирования кормовых дрожжей

Показатели	СРС-501К-1 (СДГ-35)	СРС-501К-3 (СДГ-50)	СДЛ	СДЛ-901; Т-01	FEUX-412 (Швеция)	FEUX-450T3C (Швеция)	ТА-205-01167 (ФРГ)
Производительность по исходной суспензии, м ³ /ч	15—25	20—35	40—50	70—80	200	80—90	100
Диаметр барабана, мм	516	516	650	900	900	900	800
Мощность электродвигателя, кВт	20	30	75	132	150	135	55
Удельные энергозатраты, кВт/кг	—	0,19	0,064	0,084	—	0,09	0,06

частицам сгущенная суспензия) отбрасывается к стенкам барабана и далее с периферии подается по ряду трубок соплами на внутреннем конце в камеру на дне барабана. Неподвижная напорная трубка внутри камеры захватывает вращающийся концентрат и выгружает его под давлением через выпускную трубу в верхней части барабана. Фугат выходит из барабана через открытый выход или под давлением из вертикального насоса с напорным диском.

Промывка сепаратора производится без его разборки, для чего на периферии барабана устанавливается три пружинных клапана, которые открываются, когда скорость падает ниже определенного уровня, и содержимое выгружается прежде, чем барабан начнет промываться очищенной водой, а камера с напорной трубкой в центре барабана очищается при обратном токе промывной воды. Имеются модели газонепроницаемых сепараторов со специальными уплотнениями, которые можно присоединять к магистрали с инертным газом.

Характеристика сепараторов для сгущения дрожжевой суспензии приведена в табл. 10.6.

10.2.3. Сепаратор во взрывозащищенном исполнении типа ОДЛ-633/6К-1

Во ВНИИхиммаше был разработан сепаратор для отделения ферментного осадка и других биологически активных веществ от водно-спиртовой смеси при объемном содержании твердой фазы до 5 %. Это — тарельчатый сепаратор, герметизированный, с механической выгрузкой осадка, с поддувом инертного газа и охлаждением.

Он имеет как автоматическое, так и ручное управление. По конструкции сепаратор ОДЛ аналогичен сепаратору-осветлителю. Герметичность аппарата достигается за счет того, что все конструктивные узлы имеют уплотнения. Технологические трубопроводы с арматурой, а также штуцера для буферной и охлаждающей воды герметично подсоединяются к различным узлам сепаратора. Это обеспечивает возможность работы сепаратора при давлении инертного газа 2—3 кПа.

Основными узлами являются станина с приводом, барабан, приемник шлама и приемно-выводное устройство. Барабан и электродвигатель смонтированы на станине. Барабан закреплен на конической части вертикального вала и состоит из основания, подвижного поршня — конуса, крышки, тарелкодержателя, пакета тарелок и затяжных колец. Подвижной поршень предназначен для закрывания разгрузочных щелей барабана. При сепарировании поршень под действием гидростатического давления буферного раствора, подаваемого под поршень, поднимается вверх, перекрывая разгрузочные щели барабана. Для снижения влажности осадка предусмотрен клапан для вывода межтарелочной жидкости из барабана перед его разгрузкой. После заполнения шламового пространства осадком подача исходного продукта прекращается и для

разгрузки межтарелочной жидкости в левую часть кольцевого клапана подают буферный раствор. Клапан перемещается влево, открывается отверстие, через которое водно-спиртовая смесь, находящаяся между тарелками, сливается. Подача буферной жидкости прекращается, открывается клапан, и жидкость сливается. Подвижной поршень опускается вниз, разгрузочные щели открываются, и осадок выбрасывается в приемник осадка.

Жидкая фаза в процессе сепарирования движется по межтарелочным зазорам к оси вращения барабана, поднимается по наружным каналам тарелкодержателя в камеру напорного диска и под давлением выводится из сепаратора. Максимальное давление на выходе жидкой фазы составляет 0,5 МПа.

Сепаратор выполнен во взрывозащищенном исполнении с поддувом инертного газа и охлаждением барабана. Привод сепаратора изолирован по горизонтальному валу манжетным и торцевым уплотнениями.

Техническая характеристика сепаратора ОДЛ-633/6К-1

Пропускная способность по воде, м ³ /ч	До 10
Производительность по культуральной жидкости, м ³ /ч	2
Максимальный диаметр барабана, мм	1,0—1,5
Число тарелок	630
Межтарелочный зазор, мм	162
Мощность электродвигателя, кВт	0,4
Габаритные размеры, мм	17
Масса, кг	1865×1445×1725
	2256

10.3. БАКТОФУГИ ФИРМЫ «АЛЬФА-ЛАВАЛЬ»

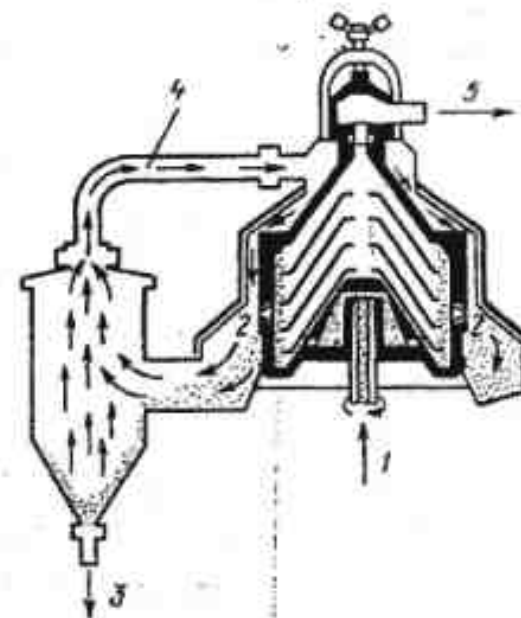
Бактофуга типа D3187M. Бактофуга представляет собой герметичный высокоскоростной сопловой сепаратор, выполненный в виде осветлителя и снабженный рубашкой для охлаждения и циклоном для деаэрации концентрата, улавливания и приема бактерий.

Бактофуга (рис. 10.8) состоит из станины, на которой расположены горизонтальный вал с фрикционной муфтой и тормозом, червячная передача, а также вертикальный полый шпиндель ротора с питающим насосом. На полом вала насажен барабан с набором конических тарелок. Верхняя часть станины вместе с колпаком и устройством для отвода удаляемой жидкости заключена в охлаждающую рубашку, и процесс сепарирования протекает при пониженной температуре.

Для непрерывной выгрузки отсепарированного концентрата бактофуга снабжена двумя соплами, расположенными на периферии. Исходная жидкость герметично подается в ротор снизу через полый вал и под действием центробежной силы распределяется по поверхностям тарелок. Твердые частицы направляются к стенкам ротора и непрерывно выгружаются через сопла с небольшим количеством жидкости.

Основная часть отсепарированной жидкости удаляется из бактофуги под давлением через верхний параксиальный выпуск. Вы-

Рис. 10.8. Высокоскоростная бактофуга D3187M фирмы «Альфа-Лаваль»



грузка концентрата происходит непрерывно. Бактериальные клетки и другие взвешенные частицы с небольшим количеством жидкости собираются в крышке над ротором и поступают через нижнюю часть сборной крышки по впускной трубе в циклон, где деаэрируются. Загрязненный воздух направляется в верхнюю часть крышки ротора, где вновь смешивается с бактериальными клетками, выходящими через сопла, вследствие чего образуется замкнутый цикл. Концентрат бактериальных клеток, отделенный от воздуха, удаляется через нижний патрубок циклона.

Преимуществами бактофуг являются непрерывность выгрузки не содержащего воздуха концентрата, герметичность, охлаждение суспензии, очистка воздуха в циклоне и отсутствие утечки загрязненного воздуха. Все эти достоинства позволяют широко использовать бактофуги для бактериальной очистки биологически активных растворов в производстве ферментных, витаминных, бактериальных препаратов, аминокислот и антибиотиков. Производительность бактофуги достигает 6 м³/ч.

Высокоскоростная бактофуга типа АХ-213. Одной из новейших и прогрессивных установок для бактофугирования является бактофуга типа АХ-213. Фактор разделения на этой бактофуге равен 142000, благодаря чему на ней можно отделять частицы диаметром до 0,0005 мм. При этом производительность установки достигает 36 м³/ч.

Отсепарированные твердые частицы скапливаются на периферии барабана — вне зоны сепарирования — и каждые 4—5 мин удаляются, не препятствуя прохождению потока. Бактофуга работает без остановок, выключения для очистки; система управления процессом, включая выгрузку твердых частиц и безразборную мойку, полностью автоматизирована.

Бактофуга (рис. 10.9) установлена на станине 13 с четырьмя ножами-амортизаторами колебаний 10, что обеспечивает устойчивость и ликвидацию вибрации бактофуги при работе. Внутри корпуса расположен вертикальный рабочий вал, на котором укреплен барабан 2 в виде сменного патрона-корпуса. Верхний и нижний подшипники установлены в резиновых амортизаторах для устранения вибрации. Система смазки масляным туманом приводится в действие при вращении рабочего вала.

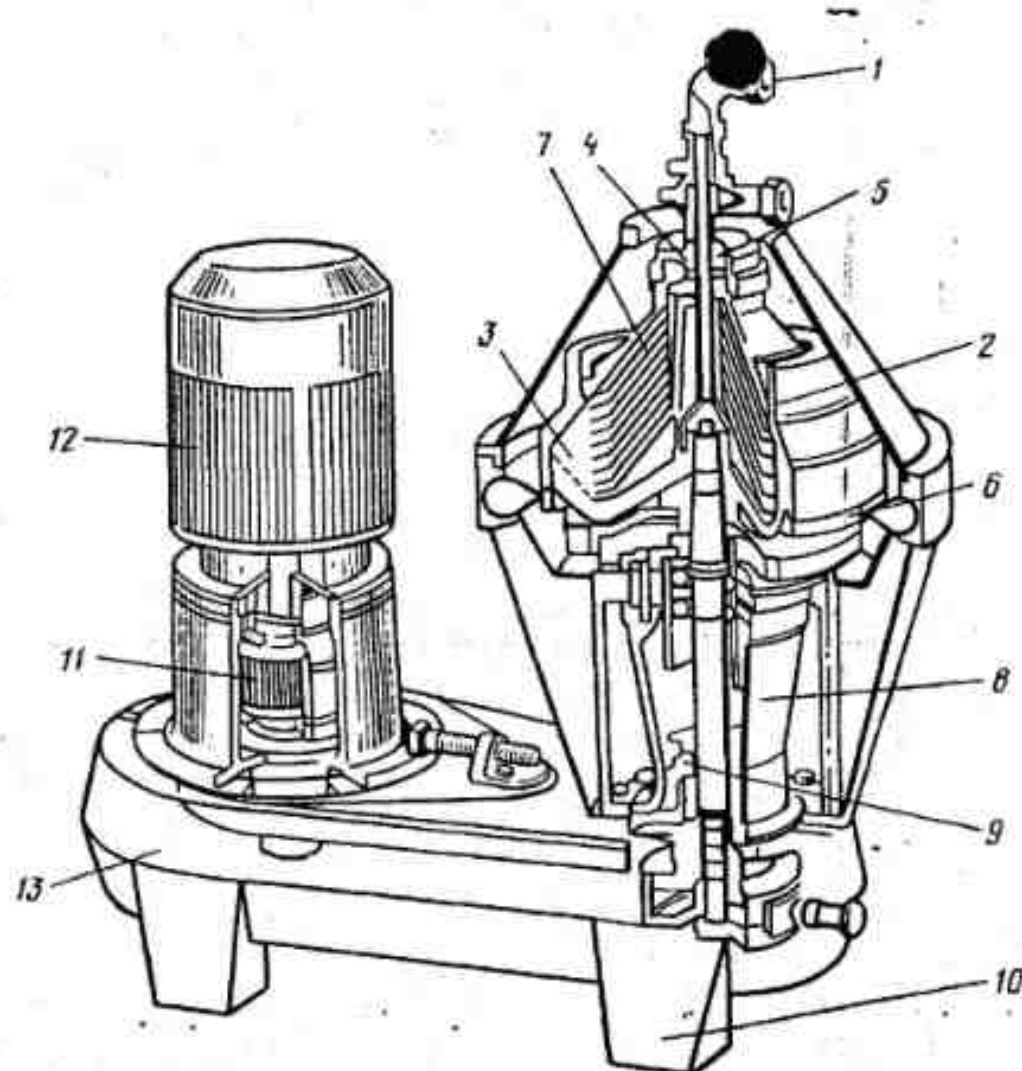


Рис. 10.9. Высокоскоростная бактофуга AX-213 фирмы «Альфа-Лаваль»:
1 — труба для подачи жидкости на осветление; 2 — барабан; 3 — карманы для твердых частиц; 4 — напорный диск; 5 — уплотнение; 6 — сопла для выгрузки твердых частиц; 7 — тарелки; 8 — корпус рабочего вала; 9 — масленки; 10 — амортизатор; 11 — магнитная муфта; 12 — электродвигатель; 13 — основание

Барабан бактофуги снабжен карманами 3 для сбора твердых частиц. Боковые стороны карманов, расположенные под углом, направляют твердые частицы в разгрузочные трубки. Аксиальное расположение разгрузочных трубок позволяет сохранять целостность наружной стенки барабана, что придает ему большую механическую прочность. Наличие стопорного кольца для колпака меньшего диаметра способствует снижению массы и увеличению прочности установки, что позволяет достигать высокой скорости.

К станине прифланцовывается электродвигатель 12. Передача вращения на рабочий вал барабана производится с помощью одностороннего плоского ремня. Магнитная муфта 11 обеспечивает плавный пуск и остановку вала. Бактофуга снабжена механическим ручным тормозом, который действует на барабан масляного резервуара, расположенного в основании корпуса рабочего вала.

Подача исходной культуральной жидкости в барабан производится сверху по неподвижной осевой трубке 1, откуда она через

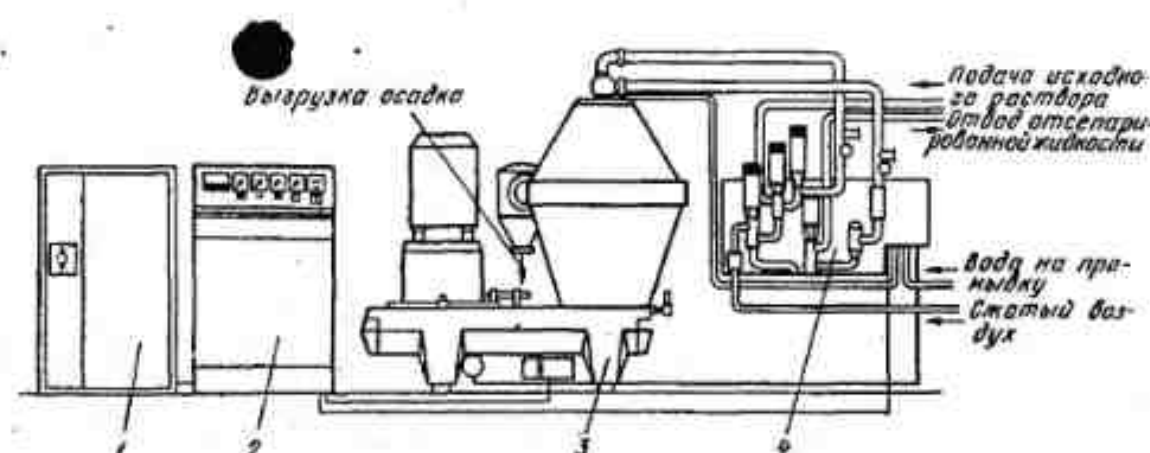


Рис. 10.10. Схема установки высокоскоростной бактофуги AX-213 фирмы «Альфа-Лаваль»

распределитель поступает в набор тарелок 7, где происходит отделение твердых частиц. Твердые частицы отбрасываются радиально в направлении действия центробежных сил, ударяются снизу об одну из конических тарелок, соскальзывают к краю тарелки и выбрасываются из межтарелочного пространства в расположенные по периферии карманы, где происходит их накопление.

Осветленная жидкость поднимается к горловине барабана и выгружается с помощью напорного диска 4. Над напорным диском расположено герметизирующее уплотнение 5.

Выброс твердых частиц из бактофуги происходит периодически каждые 4—5 мин без прерывания подачи жидкости и без остановки бактофуги. Аксиальные разгрузочные трубки 6 соединены с клапанами, которые в нормальном положении закрыты с помощью пружинной заслонки. Для выбрасывания твердых частиц заслонка опускается благодаря кратковременному вдуванию воздуха по полуму рабочему валу барабана. При этом клапаны открываются и твердые частицы выгружаются в сборное кольцо. Клапаны остаются открытыми 0,1 с, при этом вместе с твердыми частицами из барабана выбрасывается небольшое количество жидкости. Выгруженные твердые частицы поступают из сборного кольца в циклон, откуда затем выгружаются под действием силы тяжести.

Установка для бактофугирования (рис. 10.10) состоит из бактофуги 3, пульта управления 2, шкафа 1 с коммутационной аппаратурой и клапанного блока 4. Все операции осуществляются в автоматическом режиме.

Техническая характеристика бактофуги AX-213

Производительность, м ³ /ч	До 36
Диаметр барабана, мм	430
Мощность электродвигателя, кВт	30/37
Габаритные размеры, мм	
длина	1770
ширина	940
высота	1800
Масса, кг	
бактофуги	1550
барабана	460

Глава 11. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ И ОЧИСТКИ РАСТВОРОВ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Концентрация целевых продуктов биосинтеза в пересчете на содержание сухих веществ в культуральной жидкости составляет от 2 до 10 %. Для концентрирования растворов, содержащих до 15—40 % биологически активных веществ, используют процессы выпаривания, фильтрации, кристаллизации, ультрафильтрации, флотации и др. При сгущении продуктов микробного синтеза необходимо учитывать их высокую термолабильность. Так, например, ферменты при выпаривании при температуре 45 °С в течение 2 ч инактивируются на 20 %, а при температуре 55 °С и в течение 4—5 ч их активность теряется полностью. При концентрировании раствора лизина при температуре выше 60 °С лизин вступает в химическую реакцию с моносахаридами и его активность теряется.

Максимальная температура концентрирования ферментов должна быть не более 30—35 °С, кормовых дрожжей и биомасс других микроорганизмов — 70—80 °С, витаминов и антибиотиков — не более 50—55 °С. Поэтому для концентрирования продуктов микробиологического синтеза необходимо использовать такое технологическое оборудование, которое бы обеспечивало проведение процесса при наиболее низкой температуре и наименьшем времени пребывания продукта в аппарате.

11.1. ВЫПАРНЫЕ УСТАНОВКИ

Аппараты, в которых процесс сгущения растворов заключается в удалении растворителя путем его испарения, называют выпарными. Выпарные аппараты, применяемые в химической, пищевой, микробиологической и других отраслях, можно классифицировать:

по расположению поверхности нагрева — на горизонтальные, вертикальные и наклонные;

по виду теплоносителя — на аппараты с паровым, газовым обогревом, с обогревом высокотемпературными теплоносителями под высоким давлением (маслом, даутермом, водой) и с электрообогревом. Чаще всего используется обогрев паром, поэтому в дальнейшем будем рассматривать выпарные установки только с паровым обогревом;

по способу прохождения теплоносителя — на аппараты с подачей теплоносителя внутрь трубок (кипение раствора в большом объеме в межтрубном пространстве) и с подачей теплоносителя в межтрубное пространство (кипение раствора в ограниченной зоне в трубках);

по виду греющих элементов — на аппараты с паровыми рубашками, вертикальными внутренними греющими трубами, змееви-

ками и с непосредственным смешиванием греющего пара с раствором;

по характеру циркуляции — на аппараты с однократной, многократной циркуляцией;

по давлению внутри аппарата — на работающие под избыточным давлением и под вакуумом;

по режиму работы — на периодические и непрерывные аппараты.

В микробиологической промышленности наиболее широко используется процесс выпаривания в вакуумных установках (аппаратах) как наиболее экономичный способ предварительного концентрирования продуктов микробиосинтеза.

11.1.1. Вакуум-выпарная установка с принудительной циркуляцией периодического действия

Вакуум-выпарная установка с принудительной циркуляцией периодического действия (рис. 11.1) состоит из подогревателя 1; варочного аппарата 2; циркуляционного насоса 11 с приводом 12; ловушки 3; теплообменников 4 и 5 с водяным и рассольным охлаждением; двух приемников конденсата 6 и 10 и двух сборников конденсата 8 и 9; суховоздушного вакуум-насоса 7, работающего в системе концентрирования вытяжки, и мокровоздушного вакуум-насоса 14, работающего в системе удаления пара из обогревательной системы; штуцера 13 для загрузки раствора и выгрузки концентрированной жидкости.

Подогреватель 1 представляет собой аппарат цилиндрической формы с паровой рубашкой, крышкой и коническим дном. Для увеличения площади поверхности нагрева в нем расположена система вертикальных двойных трубок, причем у наружных трубок верхний конец закрыт, а нижний открыт, а у внутренних открыты оба конца.

Раствор подогревают водяным паром, поступающим в паровую рубашку и в трубки. Водяной пар подается в нижний (открытый) конец внутренних трубок, поднимается по ним и движется между внутренними и наружными трубками. Таким образом, при малом диаметре подогревателя и небольшом числе трубок создается развитая поверхность обогрева. Пар из обогревательной системы удаляется с помощью плунжерного мокровоздушного вакуум-насоса 14. После создания в системе вакуума с помощью вакуум-насоса 7 жидкость засасывается в подогреватель 1 до уровня нижнего смотрового стекла выпарного аппарата 2 и включается циркуляционный насос 11. При этом в межтрубное пространство первого теплообменника 4 подается вода, а второго — рассол или охлажденная до 5—6 °С вода.

Культуральная жидкость непрерывно циркулирует по замкнутому кольцу: подогреватель — выпарной аппарат — сепаратор — нижняя циркуляционная труба — циркуляционный насос — подогреватель. Вторичный пар поступает в ловушку 3, где от него

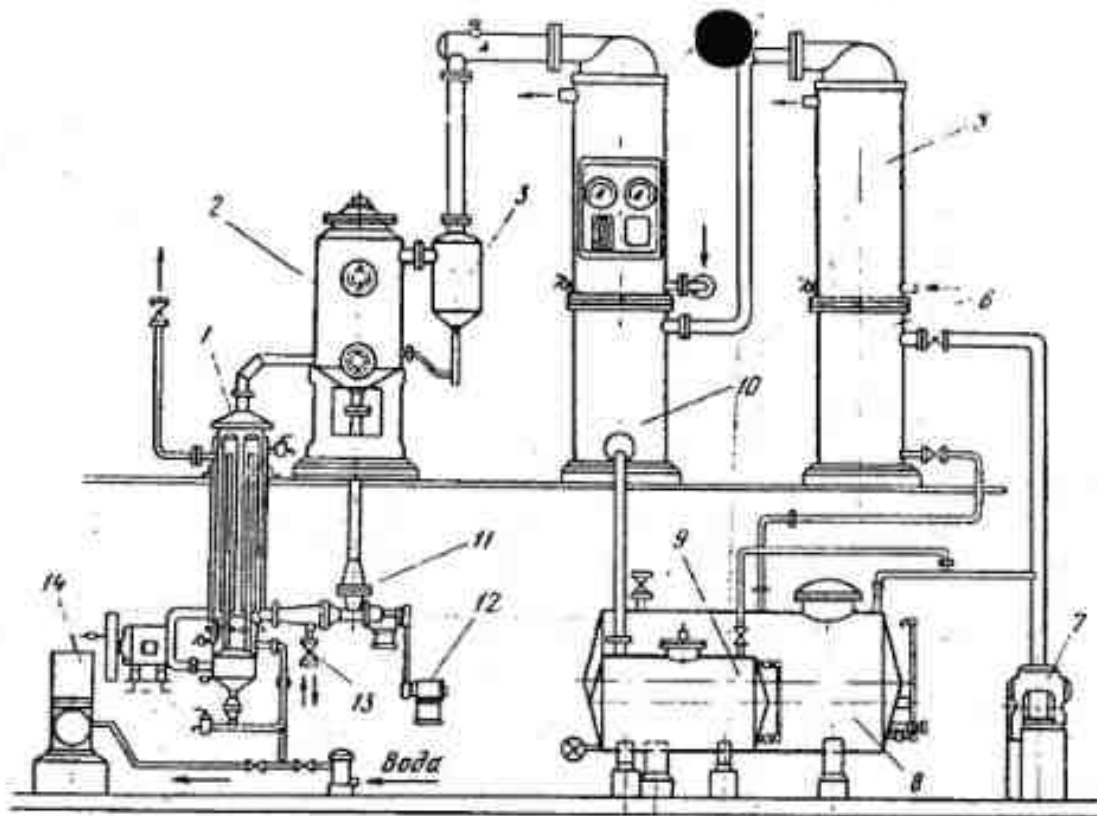


Рис. 11.1. Вакуум-выпарная установка с принудительной циркуляцией

отделяются капли жидкости, которые возвращаются в нижнюю часть выпарного аппарата. Пар после ловушки поступает в первый теплообменник 4, конденсируется и частично отводится в приемник 10. Несконденсировавшиеся в первом теплообменнике водяные пары поступают во второй теплообменник 5, где охлаждаются рас-соллом или холодной водой и отводятся в виде конденсата в приемник 6. Конденсат из приемников 10 и 6 направляется соответственно в сборники 9 и 8 для дальнейшего использования.

По мере упаривания свежие порции культуральной жидкости непрерывно поступают в подогреватель 1 и после концентрирования до заданного объема обогрев и выпаривание прекращают, давление выравнивают и концентрат в виде сиропа выгружают через штуцер 13, по которому исходная жидкость поступала в подогреватель.

Вакуум-выпарная установка снабжена приборами дистанционного контроля вакуума и температуры водяного пара и вторичных водяных паров.

11.1.2. Выпарные трубчатые пленочные аппараты

Для снижения потерь биологически активных веществ необходимо сокращать время пребывания термолabileльных продуктов в теплообменных аппаратах. Для этого необходимо интенсифицировать процесс тепло- и массообмена. Интенсификация тепло- и

массообмена может быть достигнута за счет создания тонкой пленки жидкости. К пленочным аппаратам относятся трубчатые и роторные выпарные аппараты. Хотя вязкость продукта в них обычно значительна, это не препятствует ведению процесса, поэтому пленочные аппараты широко применяются для упаривания термолabileльных продуктов.

Выпарные трубчатые пленочные аппараты. Трубчатые пленочные аппараты с однократной циркуляцией раствора с восходящей или стекающей пленкой могут быть с вынесенной или соосной греющей камерой.

На рис. 11.2 показан трубчатый пленочный выпарной аппарат с восходящей пленкой и соосно расположенной греющей камерой. Аппарат состоит из корпуса 1, греющей камеры 2, сепаратора 3, брызгоотделителя, выполненного в виде лопаток 4, и пучка трубок 5, по которым движется кипящий раствор. Раствор подается в трубки 5 греющей камеры 2, где он вскипает. Образующиеся пузырьки вторичного пара увлекают с большой скоростью раствор вверх в виде тонкой пленки по внутреннему периметру труб. Парожидкостная эмульсия, выходя из трубок, поступает в сепаратор 3, с помощью изогнутых лопаток 4 получает вращательное движение и отбрасывается центробежной силой на внутреннюю стенку аппарата. Таким образом происходит разделение вторичного пара от сгущенного раствора, который стекает в нижнюю часть сепаратора и удаляется.

Уровень заполнения трубок греющей камеры обычно составляет 25—30 %. Поверхность теплообмена пленочных трубчатых выпарных аппаратов в зависимости от количества трубок, их диаметра и величины греющей камеры составляет от 63 до 2520 м². Количество трубок в аппарате длиной 7—9 м — от 63 до 2340 шт. Диаметр греющей камеры равен 600—3000 мм, диаметр сепаратора — 1200—1400 мм, высота аппарата — 8690—16590 мм. Коэффициент теплопередачи достигает 1700 Вт/(м²·К). Максимальная вязкость концентрируемой среды 1 Па·с, время пребывания среды в аппарате 4—6 мин.

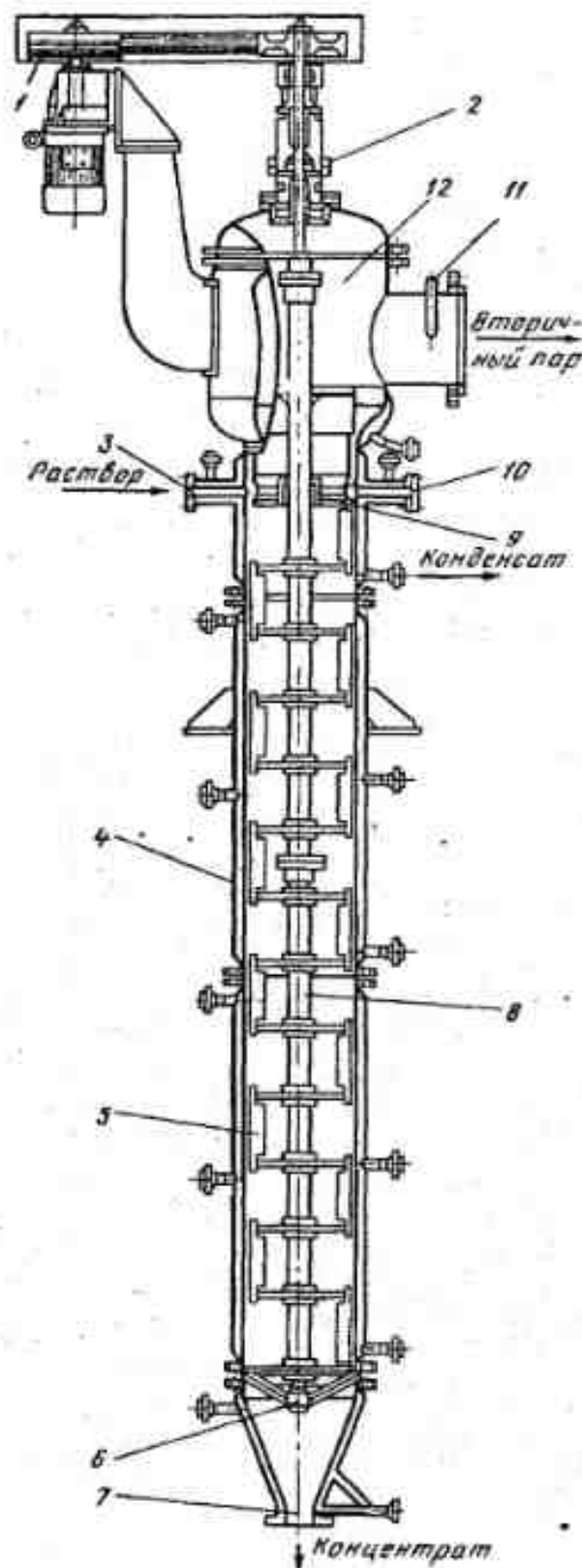
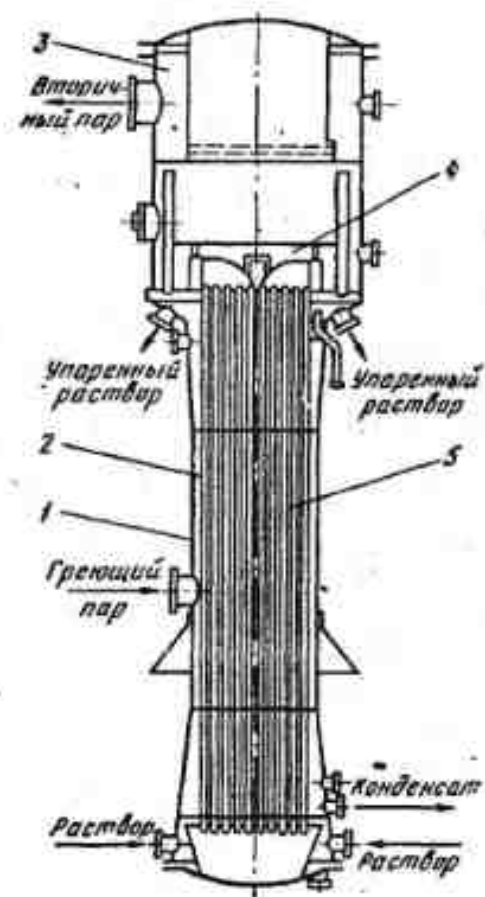
Роторные пленочные выпарные аппараты. В этих аппаратах процесс упаривания происходит в слое жидкости, создаваемом на внутренней поверхности неподвижного вертикального корпуса. Снаружи корпуса расположены секционные рубашки, в которые подается теплоноситель.

Роторный пленочный выпарной аппарат (рис. 11.3) состоит из ременного привода 1, уплотнения вала 2, патрубка ввода жидкости 3, цилиндрического корпуса со специальной паровой рубашкой 4, лопаток 5, опорного подшипника 6, патрубка вывода концентрированного раствора 7, вала ротора 8, распределителя раствора 9, штуцера для предохранительного клапана 10, гильзы для термометра 11 и сепаратора 12. В качестве теплоносителя можно использовать водяной насыщенный пар, воду, органические теплоносители, обеспечивающие различный температурный режим.

Ротор 8 состоит из вала, на котором закреплены диски с установленными между ними лопастями 5. Ротор приводится во вра-

Рис. 11.2. Пленочный выпарной аппарат

Рис. 11.3. Роторный пленочный выпарной аппарат



шение с помощью клиноременного привода. Верхняя часть вала ротора крепится в подшипниковом узле вала 2, смонтированном на крышке сепаратора 12. Торцевые уплотнения верхнего и нижнего концов вала выполнены двойными с затворной жидкостью, циркуляция которой осуществляется с помощью устройства, расположенного на наружной стойке привода.

Ротор может быть выполнен в виде трехлопастной мешалки, вала с дисками, между которыми шарнирно закреплены лопатки. Наибольшее распространение получили аппараты с шарнирным (подвижным) креплением лопаток ротора, обеспечивающих очистку поверхности теплообменника.

Внутренний диаметр роторных выпарных установок равен от 160 до 1000 мм, поверхность нагрева — от 0,5 до 20 м², частота вращения ротора — 50—3000 мин⁻¹. При этом время пребывания раствора в аппарате составляет 10—15 с. Удельная производительность аппарата по испаряемой влаге достигает 540 кг/(м²·ч). Мощность привода ротора при различных диаметрах аппаратов равна от 1,5 до 11 кВт. Раствор для концентрирования подается дозировочным насосом в верхнюю часть аппарата через патрубок 3, равномерно распределяется по периметру распределителя 9 и в виде тонкой пленки стекает по внутренней поверхности стенки корпуса. Теплоноситель подается в рубашку 4. При стекании раствор под действием лопаток приводится в движение, в результате чего образуется пленка, которая под действием центробежной силы прижимается к стенке аппарата. Пары, образуемые в результате кипения, поступают в сепаратор 12, где от пара отделяются капельки упариваемой среды и возвращаются обратно через патрубок 3 в выпарной аппарат. Упаренная до заданной концентрации жидкость со стенок с помощью лопаток снимается и направляется вниз к патрубку вывода концентрата 7.

Воздух, выделяющийся в процессе упаривания и проникающий через неплотности аппарата и коммуникаций, отсасывается суховоздушным насосом.

Выпаривание на роторных установках целесообразно применять в качестве последней ступени концентрирования растворов.

К недостаткам аппарата относятся небольшая поверхность нагрева, наличие ротора, что увеличивает стоимость эксплуатации, различная величина зазоров между корпусом аппарата и лопатками.

Выпаривание может производиться в однокорпусных и многокорпусных выпарных установках. В случае применения однокорпусной установки тепло используется однократно при расходе греющего пара 0,9—1,0 кг на 1 кг испаренной влаги. При использовании теплового насоса в однокорпусных установках можно вторичный пар направлять на испарение растворителя, предварительно повышая температуру вторичного пара до температуры греющего пара. Применение турбокомпрессора для сжатия вторичного пара до давления, соответствующего температуре греющего пара, позволяет снизить расход пара на выпаривание. Однако при этом

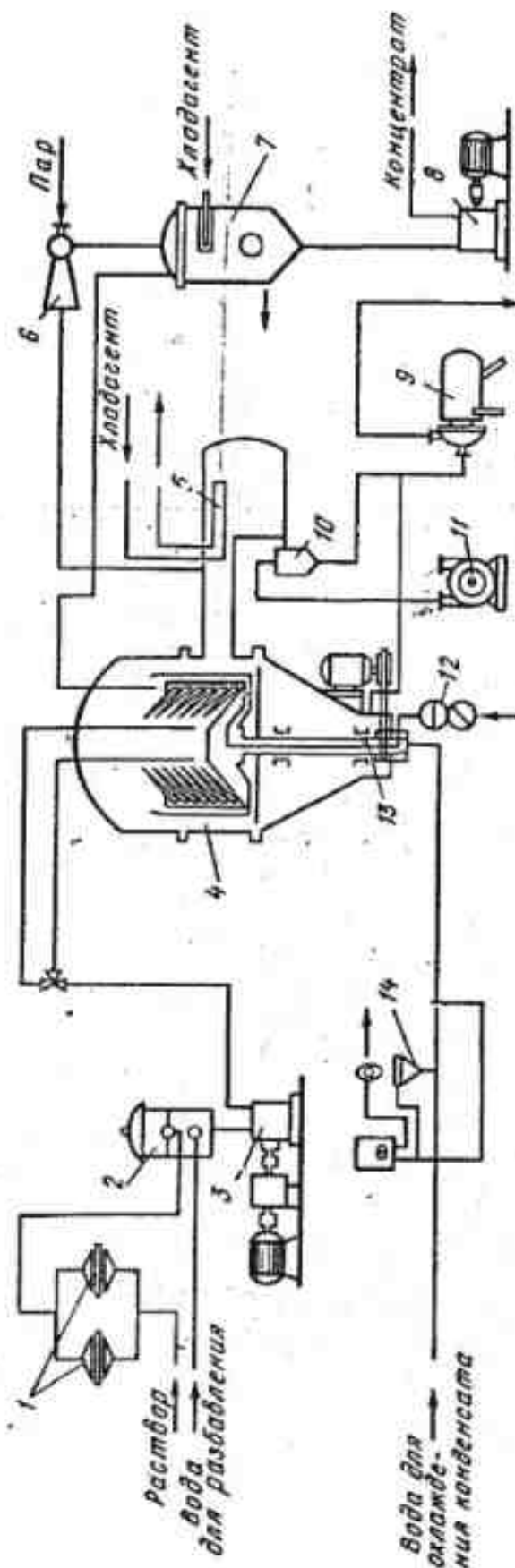


Рис. 11.4. Схема выпарной центробежной установки «Центритерм» фирмы «Альфа-Лаваль»

попадает расход механической энергии на работу компрессора, что не всегда оправдано. При удельной затрате энергии 1 кВт·ч испаряется от 8 до 17 кг воды.

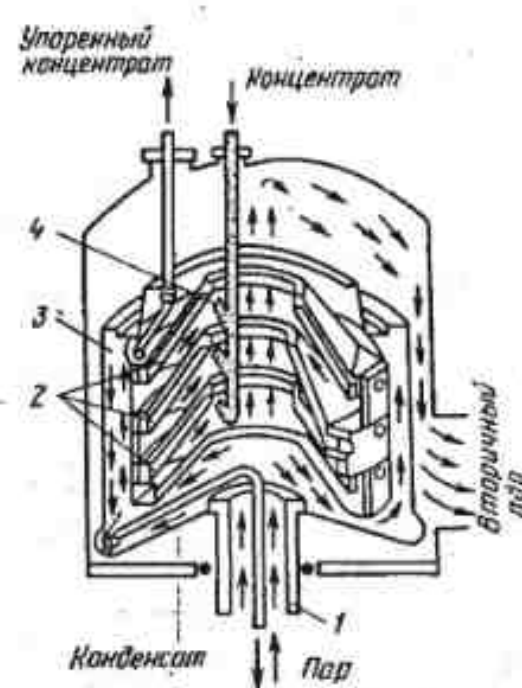
Для повторного использования вторичного пара устанавливают насосы с паровыми инжекторами. Вторичный пар отсасывается инжектором, соединяется с потоком первичного пара, и смесь направляется на обогрев выпарного аппарата. Применение инжектора уменьшает удельный расход первичного греющего пара до 0,5—0,6 кг на 1 кг воды и расход охлаждающей воды в конденсаторе.

Во многих случаях вместо вакуум-насоса используют инжектор, что позволяет значительно снизить расход электрической энергии.

Дальнейшее совершенствование пленочных выпарных аппаратов привело к созданию центробежных пленочных вакуум-выпарных установок.

Центробежные пленочные вакуум-выпарные установки «Центритерм» фирмы «Альфа-Лаваль». Для концентрирования растворов аминокислот, антибиотиков, ферментов, витаминов успешно применяют центробежные пленочные выпарные аппараты. В состав центробежной пленочной вакуум-установки «Центритерм» (рис. 11.4) входят фильтры 1 для от-

Рис. 11.5. Схема выпарного аппарата «Центритерм» фирмы «Альфа-Лаваль»



деления частиц продукта, балансирующий резервуар 2 с регулятором уровня, питающей насос 3 с регулируемой подачей, выпарной аппарат 4, поверхностный конденсатор 5 для конденсирования вторичного пара, пароструйный эжектор 6, теплообменник 7 для охлаждения сгущенного раствора, насосы 8 и 9 для откачки сгущенного раствора и конденсата, циклон 10, вакуум-насос 11 для создания вакуума в циклоне, регулятор давления пара 12, поступающего в полый вал выпарного аппарата, и смеситель конденсата с водой 14. В выпарном аппарате (рис. 11.5) на полой валу 1 укреплен полый шпиндель 3, внутри которого смонтировано девять полых нагревательных конусов 2. В нижнюю часть конусов поступает пар и отводится конденсат. Через сопла 4 на поверхность конусов подается жидкость. Привод вращения полого вала и шпинделя установлен в нижней части аппарата.

Раствор для концентрирования (рис. 11.4) подается в уравнительный резервуар 2 через систему фильтров 1, где он очищается от крупных частиц. В резервуаре имеются два поплавковых клапана, один из которых контролирует уровень жидкости, а другой — подачу жидкости.

С помощью насоса 3 жидкость поступает в аппарат 4 через патрубков и неподвижную распределительную трубу. Установленные в аппарате сопла распределяют жидкость под нижней поверхностью конусов, а центробежная сила мгновенно отбрасывает ее по всей поверхности нагрева конусов тонкой пленкой толщиной 0,1 мм. Время пробега жидкости в состоянии кипения через поверхность нагрева не более 1 с.

Образующийся в процессе кипения вторичный пар удаляется из выпарного аппарата в центральный стояк и боковое отверстие и стекает вместе с водяным паром, поступающим от эжектора 6, в конденсатор 5 и далее в циклон 10. Отсепарированный в циклоне конденсат отбирается конденсатным насосом 9, а несконденсировавшиеся газы отсасываются вакуум-насосом 11.

Сгущенный раствор собирается на периферии конусов 2 в каналах, соединенных вертикальными отверстиями, и поднимается вверх. Мгновенно охлаждаясь в расширительном охладителе под действием вакуума, создаваемого эжектором 6, он отводится через

патрубок в теплообменник 7, откуда с помощью насоса 8 откачивается на дальнейшую обработку.

Греющий пар через полый вал и шпindelъ поступает во внутреннюю полость конусов, нагревает проходящую по другой стороне конусов жидкость и конденсируется. Центробежной силой конденсат отбрасывается к верхним внутренним стенкам конусов, откуда удаляется через неподвижную спаренную трубку внутри полого шпинделя с помощью насоса 9.

Производительность вакуум-выпарных аппаратов типа «Центри-терм» с площадью нагрева 7,1 и 15 м² составляет 2400 и 5000 л/ч при температуре испарения 50 °С. Удельный расход пара 1,1 кг на 1 кг испаренной воды. Потребляемая мощность установок соответственно 20,6 и 27 кВт, расход охлаждающей воды соответственно 41 и 68 т/ч. Максимальная концентрация сухих веществ в упаренном растворе 85 %.

Преимуществами центробежных вакуум-выпарных установок типа «Центри-терм» являются: незначительное время контакта упариваемой жидкости с поверхностью нагрева (1—2 с), высокий коэффициент теплопередачи [до 10 кВт/(м²·К)] и минимальные потери биологически активных веществ в процессе упаривания.

УкрНИИхиммашем разработаны аналогичные установки производительностью до 2250 л/ч.

11.1.3. Выпарные аппараты трубчатого типа с естественной и принудительной циркуляцией

В микробиологической промышленности для концентрирования суспензий и растворов при производстве белково-витаминных концентратов, гидролизных дрожжей, бактериальных препаратов, витаминных концентратов, аминокислот и др. применяют трубчатые выпарные аппараты с естественной и принудительной циркуляцией.

Выпарные аппараты с естественной циркуляцией и вынесенной греющей камерой. Аппарат (рис. 11.6) состоит из греющей камеры 1, сепаратора 4 с брызгоотделителем 5 и циркуляционной трубой 6. Греющая камера представляет собой пучок труб 2, включенных в цилиндрическую обечайку. Верхние и нижние концы труб завальцованы в трубные решетки, приваренные к концам обечайки. В нижней и верхней частях греющей камеры расположены штуцера 3 для термометров и штуцера 7 для указателя уровня конденсата.

Сепаратор выполнен в виде цилиндрического сосуда, в верхней части которого расположен брызгоотделитель. Коническое днище сепаратора соединено с циркуляционной трубой, которая с помощью колена сообщается с нижней камерой. Циркуляция раствора в аппарате осуществляется по замкнутому контуру: сепаратор — циркуляционная труба — греющая камера — сепаратор. Движущей силой циркуляции является разность плотностей парожидкостной смеси в трубах греющей камеры и раствора в циркуляционной трубе. Выпариваемый раствор при подъеме по трубам греющей ка-

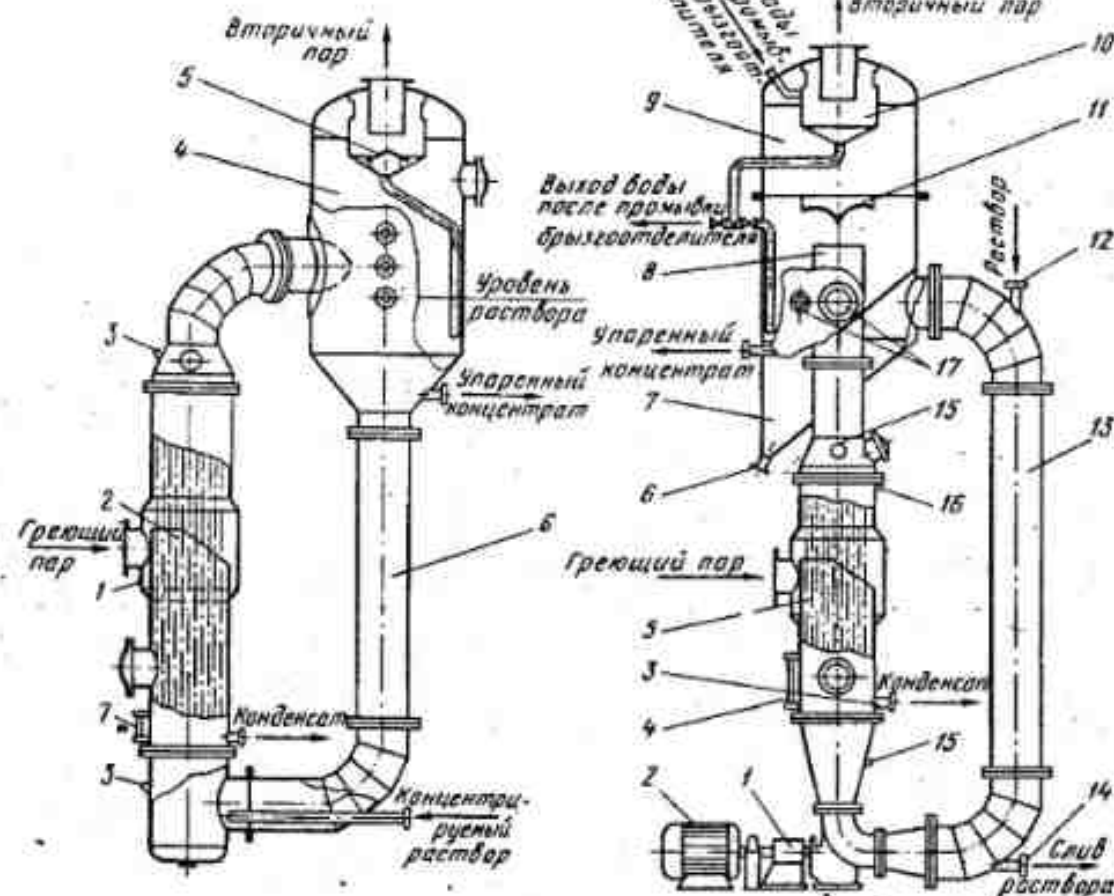


Рис. 11.6. Выпарная установка с естественной циркуляцией и вынесенной греющей камерой

Рис. 11.7. Выпарной аппарат пленочного типа с принудительной циркуляцией и вынесенной греющей камерой

меры нагревается паром, поступающим в межтрубное пространство, и вскипает. Образовавшаяся смесь пара и раствора поступает в сепаратор и разделяется на жидкую и паровую фазы. Пар, освобождаясь от капель в сепараторе и брызгоуловителе, выходит из аппарата, а раствор по циркуляционной трубе возвращается в греющую камеру. Уровень раствора в сепараторе поддерживается постоянным и соответствует нижней образующей штуцера ввода паровоздушной смеси.

Аппараты с естественной циркуляцией применяются для концентрирования непенящихся сред с невысокой вязкостью (до 0,6 Па·с).

Существенными недостатками этих аппаратов являются большое время пребывания упариваемого раствора в аппарате (до 1 ч), образование накипи на поверхности нагрева, а также невысокие коэффициенты тепло- и массообмена из-за небольших скоростей циркуляции раствора.

Выпарные аппараты с естественной циркуляцией имеют площадь поверхности теплообмена от 24 до 796 м², максимальную произво-

дительность по испаряемой влаге 120 т/ч, коэффициент теплопередачи 900 Вт/(м²·К). Давление в греющей камере составляет 0,3—0,6 МПа, а в сепараторе — 0,9 МПа. Диаметр греющей камеры 2000—4000 мм, высота аппарата 9050—13 690 мм.

Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией. В аппаратах с принудительной циркуляцией устранены некоторые недостатки выпарных аппаратов с естественной циркуляцией. Так, в них скорость движения раствора достигает 2—4 м/с, раствор меньше пригорает, процессы тепло- и массообмена более интенсивные [коэффициент теплопередачи 1500 Вт/(м²·К)], что позволяет уменьшить их габариты. Аппараты изготавливают с вынесенной или соосной греющей камерой.

Аппарат (рис. 11.7) состоит из вынесенной греющей камеры 5, штуцеров 15 для термометров, сепаратора 9 с трубой вскипания 8, отбойника 11, брызгоуловителя 10, циркуляционного насоса 1 с электродвигателем 2, циркуляционной трубы 13 и выносного сборника для выделенного осадка 7. Уровень конденсата определяется по указателю уровня 4, а сток конденсата осуществляется через штуцер 3.

Конструкция греющей камеры аналогична конструкции камеры выпарного аппарата с естественной циркуляцией. К верхней трубной решетке прикреплен труба вскипания 8, над которой во внутренней части сепаратора расположен отбойник 11. Ввод раствора осуществляется через штуцер 12, расположенный в верхней части циркуляционной трубы 13. Штуцер 16 служит для сдувки неконденсирующихся паров.

Циркуляция раствора в аппарате осуществляется по контуру: сепаратор — циркуляционная труба — циркуляционный насос — греющая камера — сепаратор.

Раствор, нагретый в греющей камере, поднимается по трубе вскипания и по достижении давления, соответствующего температуре насыщения, вскипает. Кипение раствора в трубах греющей камеры предотвращается за счет гидростатического давления столба жидкости в трубе вскипания. Образовавшаяся смесь вместе с выделяющимися кристаллами соли выбрасывается в сепаратор, где происходит отделение паровой фазы. Кристаллы в виде пульпы попадают в солесборник 7 и выводятся из аппарата через штуцер 6. Уровень раствора в аппарате поддерживается по верхней кромке трубы вскипания. Снижение уровня вызывает увеличение расхода мощности. Слив раствора осуществляется через штуцер 14. Насос обеспечивает скорость потока в греющих трубах 2—2,5 м/с. Греющий пар подается в межтрубное пространство аппарата. Для наблюдения за работой аппарат снабжен смотровыми окнами 17.

Аппараты могут работать в периодическом и непрерывном режимах. Площадь поверхности теплообмена от 30 до 896 м². Диаметр греющей камеры 400—2000 мм, диаметр сепаратора 1000—4000 мм, высота аппарата 13 495—17 820 мм. Мощность электродвигателя насоса 17—320 кВт. Максимальная вязкость концен-

трируемой среды 1,5 Па·с. Продолжительность пребывания среды в аппарате 30 мин.

Трехкорпусная выпарная установка. Для упаривания дрожжевой суспензии, культуральных жидкостей, содержащих лизин и другие термолабильные препараты, наибольшее применение имеют трехкорпусные вакуум-выпарные установки, состоящие из трех последовательно соединенных однокорпусных аппаратов со стекающей пленкой. В качестве теплоносителя используется водяной пар низкого давления.

Первый корпус установки обогревается паром, поступающим из паровых котлов или турбин, а обогрев каждого последующего корпуса осуществляется вторичным паром из предыдущего корпуса. В многокорпусных установках головной корпус работает под избыточным давлением, а хвостовые — под разрежением, благодаря чему снижается удельный расход греющего пара. Так, для однокорпусной выпарной установки удельный расход пара составляет 1,0—1,1 кг на 1 кг выпаренной воды, двухкорпусной — 0,57, трехкорпусной — 0,4, четырехкорпусной — 0,3 и пятикорпусной — 0,27 кг на 1 кг выпаренной воды. Однако с увеличением числа корпусов возрастают температурные потери, уменьшается полезная разность температур между корпусами, а также могут создаваться условия, ухудшающие качество обрабатываемых продуктов. Поэтому число корпусов для каждого продукта должно иметь определенный предел, обеспечивающий сохранение качества продукта при заданном режиме выпаривания. Таким образом, оптимальное количество корпусов в выпарной установке определяют на основании технологических, экономических требований и свойств обрабатываемого продукта.

Трехкорпусная выпарная установка (рис. 11.8) состоит из испарителей 1, 7 и 8 соответственно первой, второй и третьей ступеней,

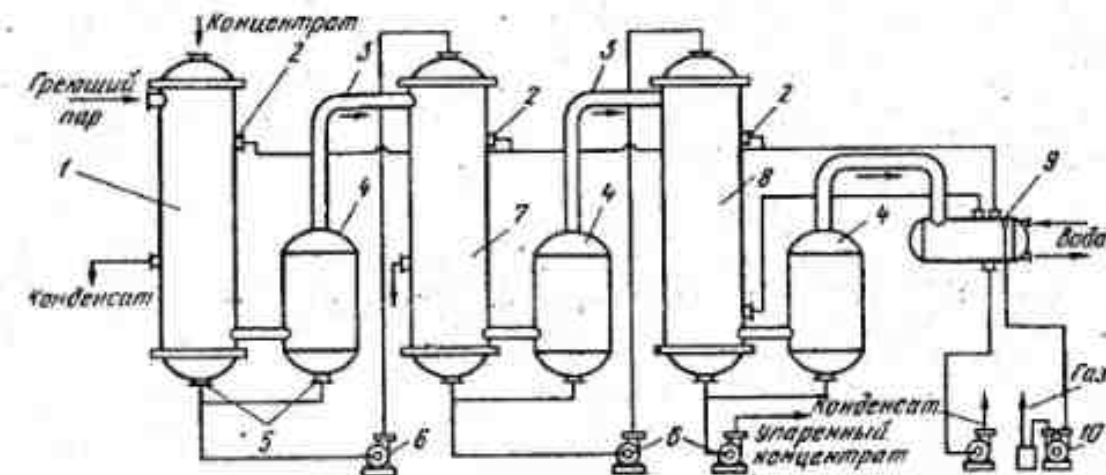


Рис. 11.8. Трехкорпусная установка для упаривания культуральной жидкости:

1 — испаритель первой ступени; 2 — штуцера для отсоса газов; 3 — трубы для вторичного пара; 4 — брызгоотделители; 5 — выход упаренного концентрата; 6 — насосы; 7 — испаритель второй ступени; 8 — испаритель третьей ступени; 9 — поверхностный конденсатор; 10 — водокольцевой вакуумный насос

брызгоотделителей 4, труб для вторичного пара 3, насосов 6 для перекачки сгущаемого продукта, поверхностного конденсатора 9, водокольцевого вакуум-насоса 10 для отсоса несконденсированных газов из испарителей через штуцер 2, штуцеров 5 для вывода упаренного концентрата из испарителей и брызгоотделителей.

Исходный раствор центробежным насосом подается в теплообменник, где подогревается до температуры, близкой к температуре кипения, а затем поступает в первый корпус установки. Кроме того, благодаря предварительному нагреванию раствора уменьшается пенообразование в выпарном аппарате, повышается интенсивность кипения и удаляется значительное количество воздуха и диоксида углерода, образующихся в процессе культивирования микроорганизмов. Для обогрева раствора в первый корпус подают свежий водяной пар. Образующийся в первом корпусе вторичный пар поступает во второй корпус 7, куда также поступает сконцентрированный раствор из первого корпуса.

Из второго корпуса вторичный пар поступает в третий корпус 8 вместе с раствором. Самопроизвольный переток раствора и вторичного пара в последующий происходит благодаря общему перепаду давления, возникающему в результате создания вакуума в последнем корпусе с помощью поверхностного конденсатора смешения 9. В конденсатор подается охлаждающая вода и осуществляется отсос неконденсирующихся газов вакуум-насосом 10. Смесь охлаждающей воды и конденсата выводится из конденсатора с помощью барометрической трубы с гидрозатвором. Концентрированный раствор из третьего корпуса центробежным насосом подается в промежуточный сборник упаренного раствора.

Установка оборудована уровнемерами и приборами регулирования параметров процесса.

11.1.4. Расчет трехкорпусной вакуум-выпарной установки с барометрическим конденсатором

Расчет выпарной установки заключается в определении площади поверхности нагрева корпусов установки при выбранных условиях теплового режима работы. Для расчета необходимы следующие параметры: производительность по исходной среде G_n , кг/с; начальная B_n и конечная B_k концентрации жидкости, %; температура среды t_1 перед подачей ее в первый корпус, °C; температура вторичного пара в каждом корпусе $t_{в.п.}$, °C; давление в барометрическом конденсаторе $p_{б.к.}$, МПа; коэффициенты теплопередачи $K_{1,2,3}$ по корпусам, Вт/(м²·K); температура греющего пара, подаваемого в первый корпус, $t_{гр.п.}$, °C; направление движущегося пара и раствора прямоточное; количество корпусов 3.

Поверхность нагрева (м²) корпусов

$$F = Q / (K \Delta t_n),$$

где Q — тепловая нагрузка, кВт; K — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·K); Δt_n — полезная разность температур, °C.

Температурный режим и тип установки для выпаривания выбирают с учетом свойств выпариваемой среды. Для определения тепловых нагрузок, коэффициентов теплопередачи и полезных разностей температур необходимо определить количество упариваемой воды, концентрацию растворов и температуру кипения в каждом корпусе.

Из уравнения материального баланса сухих веществ определяют производительность установки W (кг/с) по выпаренной воде:

$$W = G_n (1 - B_n / B_k).$$

Общее количество выпаренной воды из трех корпусов равно сумме количеств выпаренной воды из каждого корпуса:

$$W = W_1 + W_2 + W_3.$$

Соотношение выпариваемой воды по корпусам можно принять следующее: $W_1 : W_2 : W_3 = 1 : 1,1 : 1,2$, $W_1 = W \cdot 1 / (1 + 1,1 + 1,2)$;

$$W_2 = W \cdot 1,1 / (1 + 1,1 + 1,2) \text{ и } W_3 = W \cdot 1,2 / (1 + 1,1 + 1,2).$$

Материальный баланс сухих веществ для первого корпуса

$$G_n B_n / 100 = (G_n - W_1) B_{k1} / 100;$$

для двухкорпусной установки

$$G_n B_n / 100 = (G_n - W_1 - W_2) B_{k2} / 100;$$

для трехкорпусной установки

$$G_n B_n / 100 = (G_n - W_1 - W_2 - W_3) B_k / 100,$$

где B_{k1} и B_{k2} — концентрации упаренного раствора после первого и второго корпусов, %.

Конечная концентрация раствора (%) после первого корпуса $B_{k1} = G_n B_n / (G_n - W_1)$, после второго корпуса $B_{k2} = G_n B_n / (G_n - W_1 - W_2)$, после третьего корпуса $B_k = G_n B_n / (G_n - W_1 - W_2 - W_3)$.

При упаривании происходит увеличение вязкости и плотности раствора, в результате чего уменьшается коэффициент теплопередачи. Поэтому при расчетах коэффициенты теплопередачи принимают либо на основании экспериментальных данных, либо их определяют по известным показателям выпариваемой среды. Для упрощения расчетов выпарной установки можно использовать ориентировочное соотношение коэффициентов теплопередачи по корпусам $K_1 : K_2 : K_3 = 1 : (0,7 \div 0,8) : (0,4 \div 0,6)$. Коэффициент теплопередачи для первого корпуса можно принимать из табл. 11.1 в зависимости от типа выбранной конструкции выпарного аппарата.

Тепловые нагрузки по корпусам (кВт) будут

$$Q_1 = W_1 r_1, \quad Q_2 = W_2 r_2, \quad Q_3 = W_3 r_3,$$

где r_1 , r_2 и r_3 — скрытая теплота парообразования греющего или вторичного пара, соответственно в первом, втором и третьем корпусах, кДж/кг.

Суммарная полезная разность температур (°C)

$$\Delta t_n = t_{гр.п.} - t_{в.п.3} - \Sigma \Delta t_{пот.},$$

где $t_{в.п.3}$ — температура вторичного пара в последнем корпусе, °C; $\Sigma \Delta t_{пот.}$ — суммарные потери температуры по корпусам, °C (принимаются 4—7 °C).

Потери температуры происходят из-за повышения температуры кипения среды при увеличении ее плотности, уменьшения упругости паров воды над упариваемой средой в каждом последующем корпусе по сравнению с исходной, поступающей в первый корпус средой, понижения температуры вторичного пара за счет теплообмена с окружающей средой.

Если принять, что площади поверхностей нагрева F (м²) всех корпусов равны между собой, то полезные разности температур Δt_n (°C) для каждого корпуса будут:

$$\Delta t_{n1} = \frac{\Delta t_n Q_1 / K_1}{Q_1 / K_1 + Q_2 / K_2 + Q_3 / K_3}; \quad \Delta t_{n2} = \frac{\Delta t_n Q_2 / K_2}{Q_1 / K_1 + Q_2 / K_2 + Q_3 / K_3};$$

$$\Delta t_{n3} = \frac{\Delta t_n Q_3 / K_3}{Q_1 / K_1 + Q_2 / K_2 + Q_3 / K_3}.$$

Таблица 11.1. Сравнительные данные работы выпарных установок

Показатели	Аппараты циркуляционного типа		Тонкослойные аппараты		Пленочные аппараты			
	с естественной циркуляцией	с принудительной циркуляцией	с пластинчатым теплообменником	с тарельчатым теплообменником	с восходящей пленкой	со стеклющей пленкой	с перемешиванием пленки	с вращающейся поверхностью нагрева
Максимальная производительность по испаряемой влаге, т/ч	120	250	8	7	250	250	0,5	2,5
Коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К)	900—1800	1500—2400	1800—2500	1800—2200	1700—2700	2000—3200	2000—3600	10 000
Максимальная вязкость концентрируемой среды, Па·с	0,6	1,5	0,4	0,4	1,0	1,0	15	15
Время пребывания среды в аппарате, мин	60—150	30—90	3—6	1—3	4—6	2—6	0,1—0,4	0,01—0,1
Целесообразное количество ступеней выпаривания	2—3	1—3	2—3	2—3	1—2	2—4	1	1
Концентрируемые продукты биосинтеза	Кормовые биомассы (дрожжи, бактерии и др.)	Ферменты, антибиотики, витамины и др.	Кормовые биомассы, ферменты, антибиотики, аминокислоты, витамины и др.	Ферменты, антибиотики	Ферменты, антибиотики	Ферменты, антибиотики, микробные клетки и др.		

Тогда расчетные площади поверхности нагрева (м²) в корпусах:

$$F_{p1} = Q_1 / (K_1 \Delta t_{m1});$$

$$F_{p2} = Q_2 / (K_2 \Delta t_{m2});$$

$$F_{p3} = Q_3 / (K_3 \Delta t_{m3}).$$

Выбор выпарного аппарата производят по максимальной расчетной площади $F_{p, \text{м}}$ поверхности нагрева, увеличенной на 20—30 %.

После выбора выпарного аппарата по максимальной площади нагрева рассчитывают фактическую производительность вакуум-выпарной установки (кг/с):

$$G_{\phi} = G_n F_n / F_{p, \text{м}}.$$

Расход греющего пара (кг/ч)

$$D_{гр. п} = W_1 F_n / F_{p, \text{м}}.$$

Удельный расход греющего пара (кг/кг)

$$d = D_{гр. п} / W.$$

Расход тепла в подогревателе среды (кДж/ч)

$$Q_n = 3600 G_{\phi} c (t_2 - t_1),$$

где c — удельная теплоемкость среды, подаваемой в подогреватель, кДж/(кг·К); t_1 , t_2 — температура среды, поступающей в подогреватель и выходящей из подогревателя, °С.

Количество пара (кг/с), поступающего в конденсатор из третьего корпуса,

$$D = W_3 F_n / F_{p, \text{м}}.$$

11.2. КОНДЕНСАТОРЫ

Конденсация широко используется в выпарных установках разных конструкций. Необходимым условием конденсации является охлаждение паров веществ. Жидкость, образующаяся в результате конденсации пара, оседает на холодной поверхности в виде капель или пленки. В соответствии с этим конденсация может быть капельной или пленочной. В промышленных аппаратах чаще всего имеет место пленочная конденсация паров.

В вакуум-выпарных установках для использования тепла вторичного пара и создания вакуума применяются конденсаторы смешения, или поверхностные конденсаторы. Это теплообменные аппараты, в которых конденсация происходит путем непосредственного перемешивания паров с охлаждающей водой. Поверхностные конденсаторы — это обычные теплообменные аппараты, в которых происходит конденсация паров на теплообменной поверхности, омываемой холодной водой. Поверхностные конденсаторы обычно используют в тех случаях, когда полученный конденсат возвращается в производство. Конденсаторы смешения используют для охлаждения паров веществ, которые в производство не возвращаются.

В зависимости от способа отвода из аппаратов продуктов конденсации и воздуха различают конденсаторы смешения мокрого и сухого типа.

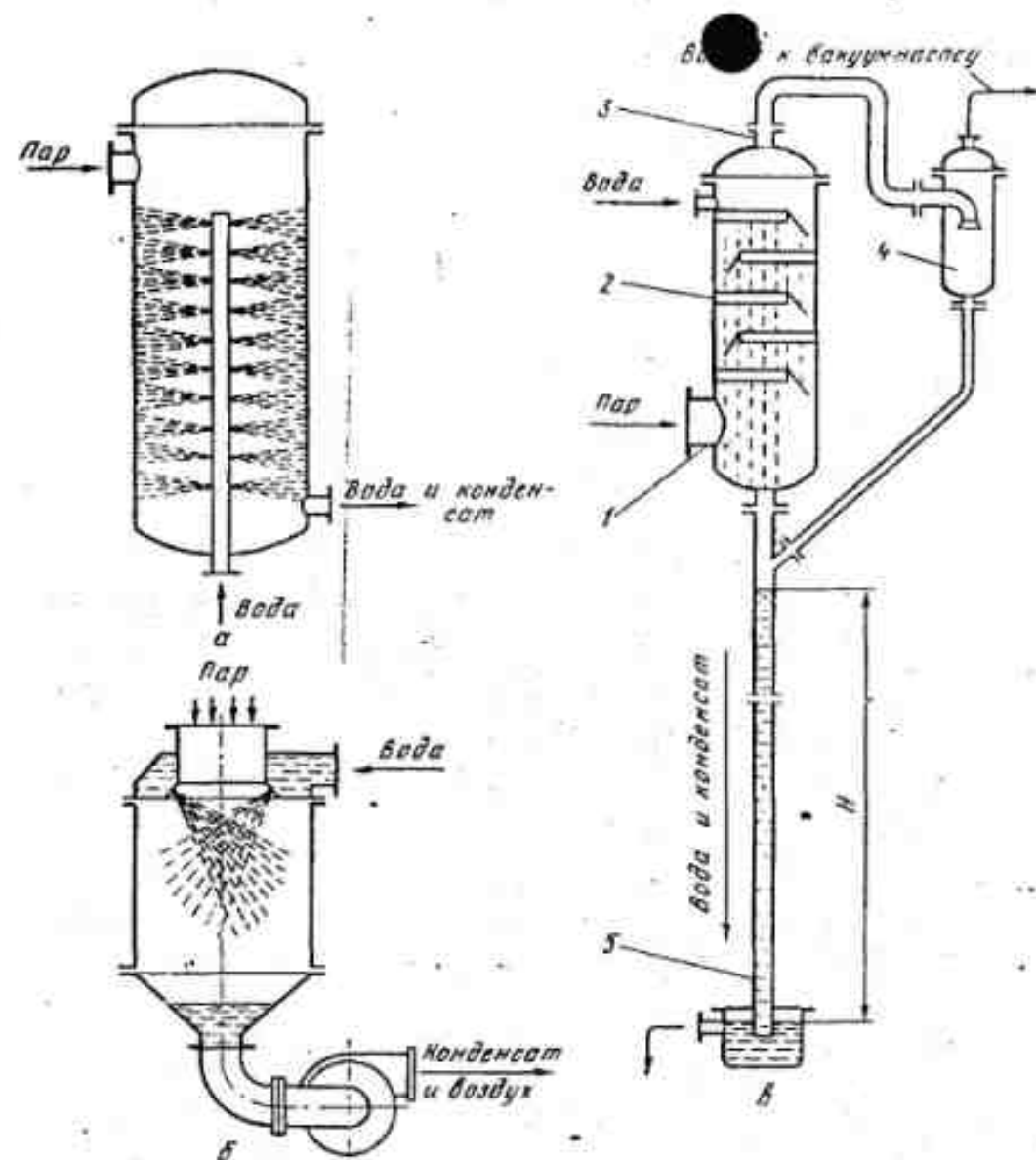


Рис. 11.9. Конденсаторы смешения:

а — мокрый противоточный; б — мокрый проточный; в — сухой противоточный барометрический конденсатор

Конденсаторы смешения показаны на рис. 11.9. В мокрых конденсаторах водоконденсатная смесь, а также воздух и другие газы отводятся вместе с помощью мокровоздушного насоса, присоединенного к выпускному штуцеру аппарата (рис. 11.9, а, б). В сухих конденсаторах водоконденсатная смесь самотеком выводится снизу, а воздух отсасывается вакуум-насосом или инжектором.

Иногда вместо насоса для отвода смеси воды и конденсата применяют барометрический конденсатор (рис. 11.9, в). Барометрический конденсатор рекомендуется использовать для конденсации водных паров с примесью газов и отсасывания образовавшихся в выпарных установках газов при упаривании белковых растворов, органических кислот (например, лимонной кислоты), аминокислот и др.

Барометрический конденсатор работает следующим образом. Пар в барометрический конденсатор поступает через нижний штуцер 1, воздух отсасывается через верхний штуцер 3, проходит ловушку 4, в которой отделяется от капель воды, и вакуум-насосом удаляется из системы. В верхней части конденсатора вода имеет самую низкую температуру, поэтому воздух, скапливающийся наверху, также имеет наименьшую температуру и объем. Воздух целесообразнее удалять из аппарата сверху, так как затрачиваемая мощность вакуумного насоса уменьшается прямо пропорционально объему воздуха. Вода, подаваемая в верхнюю часть конденсатора, стекает по перфорированным полкам 2 вниз в виде пленки навстречу пару и вместе с конденсатом выводится через барометрическую трубу 5.

При расчете барометрического конденсатора определяют расход охлаждающей воды, размеры конденсатора и мощность вакуум-насоса.

Расход охлаждающей воды (кг/с), поступающей на конденсацию водяного пара,

$$W_0 = \frac{D(i - c_{в} t_{к.к})}{c_{в}(t_{к.к} - t_{к.н})},$$

где D — количество пара, поступающего в конденсатор, кг/с; i — энтальпия конденсируемого пара, Дж/кг; $c_{в}$ — удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К); $t_{к.н}$ и $t_{к.к}$ — температуры воды, входящей в конденсатор, и смеси конденсата и воды, выходящей из конденсатора, °C ($t_{к.к}$ принимается ниже температуры конденсата паров на 3—5 °C).

Для приближенных расчетов можно принимать: при нагреве воды в конденсаторе на 20 °C $W_0 = 30 D$, при нагреве на 40 °C $W_0 = 15 D$. Производительность барометрических конденсаторов по пару достигает 43 кг/с, или 15 т/ч.

Диаметр конденсатора d_k (м) рассчитывают исходя из количества пара D (кг/с), поступающего в конденсатор, удельного объема пара q_n (м³/кг) при заданном давлении, скорости пара в конденсаторе v_n (м/с). При давлении 0,01—0,02 МПа $v_n = 25 \div 55$ м/с

$$d_k = \sqrt{1,5 D q_n / v_n}.$$

Ширина полок конденсатора (м)

$$a = d_k / 2 + 0,05.$$

Высота конденсатора принимается от 2,5 до 2,7 м, расстояние между полками — 0,4—0,5 м, число полок с диаметром отверстий до 5 мм — 6—7 шт.

Для обеспечения непрерывного отвода жидкости из конденсатора при наличии разрежения в аппарате барометрическая труба должна иметь определенную высоту (м):

$$H = h_1 + h_2 + 0,5,$$

где h_1 — высота столба жидкости, уравновешивающего разность между давлением в конденсаторе и атмосферным, м; h_2 — высота столба жидкости, под напором которого жидкость движется вниз по трубе, м; 0,5 — запас высоты трубы, предотвращающий возврат жидкости из барометрической трубы обратно в конденсатор при увеличении атмосферного давления.

$$h_1 = 10,33 B / 98,8; \quad h_2 = v_{ж}^2 / 2g(1 + \Sigma \xi),$$

где B — разрежение в конденсаторе, кПа ($B = 88,4$ кПа); $v_{ж}$ — скорость движения жидкости в барометрической трубе, м/с ($v_{ж} = 1,0 \div 2,0$ м/с); g — ускорение свободного падения, м/с²; $\Sigma \xi$ — сумма коэффициентов, учи-

тывающая местные сопротивления на входе в трубу ($\xi = 0,5$), на выходе ($\xi = 1$) и трение ($\xi = 1,5$).

Полная высота барометрической трубы должна быть не менее 11 м.
Диаметр барометрической трубы (м)

$$d_T = 1,13 \sqrt{(D + W_0)/(\rho_w v_{ж})}$$

где ρ_w — плотность воды, кг/м³.

11.3. ВАКУУМ-НАСОСЫ

В вакуум-выпарных аппаратах и других установках для отсасывания воздуха применяют различные вакуум-насосы. Это ротационные двухплунжерные и поршневые вакуум-насосы, водокольцевые и многопластинчатые вращательные насосы со скользящими лопатками и др. Производительность вакуум-насосов составляет от 60 до 1130 л/с и более.

Ротационные двухплунжерные вакуум-насосы типа ВН. Они применяются в вакуум-выпарных и сушильных установках микробиологических производств для откачивания воздуха и водяных паров определенной концентрации. Насосы типа ВН могут длительное время работать при давлении на входе около 13,3 кПа. Остаточное давление, которое создается насосом при работе без нагрузки с плотно закрытым входным патрубком, равно 0,665 Па; поэтому эти насосы относятся к группе среднего давления. Насосы охлаждаются водой, подаваемой в водяную рубашку корпуса под давлением не менее 0,2 МПа. Расход воды регулируется таким образом, чтобы температура масла в баке была не более 70 °С. Ротационные вакуум-насосы выпускаются трех типов — ВН-4Г, ВН-6Г и ВН-300Г (табл. 11.2).

Таблица 11.2. Техническая характеристика ротационных двухплунжерных вакуум-насосов

Показатели	ВН-4Г	ВН-6Г	ВН-300Г
Производительность, м ³ /с	0,059	0,155	0,300
Предельное давление, Па	0,695	1,33	1,33
Мощность электродвигателя, кВт	7	20	40
Габаритные размеры, мм	1370×770×1300	1560×970×1700	2075×1010×1800
Масса, кг	690	1557	2665

Поршневые вакуум-насосы. Наибольшее распространение получили насосы для создания остаточного давления на уровне 2—5 кПа. Производительность применяемых поршневых вакуум-насосов 45—3500 м³/ч. Поршневые насосы бывают одно- и двухступенчатые. Они обеспечивают максимальный вакуум до 1 %. Потребляемая мощность этих вакуум-насосов от 1 до 52 кВт.

Многопластинчатые вращательные насосы со скользящими лопатками. С помощью этих насосов можно создавать давление около 2—3,4 кПа при производительности от 200 до 6000 м³/ч. Эти насосы перед поршневыми имеют следующие преимущества: меньшие габаритные размеры, непосредственное соединение с электродвигателем, простота конструкции и высокая надежность в работе.

Таблица 11.3. Техническая характеристика пластинчатых вакуум-насосов

Показатели	РВН-30	РВН-60	РВН-75
Производительность при атмосферном давлении, м ³ /с	0,475	0,940	1,130
Предельное давление, кПа	2	2	2
Расход воды, л/ч	950	1400	1800
Мощность электродвигателя, кВт	50	75	100
Масса, кг	3375	5540	8980

Водокольцевые насосы. Для откачивания смеси воздуха с водяным паром используются мокровоздушные насосы типа КВН или ВВН. Их применяют для создания вакуума в обогреваемом пространстве вакуум-выпарных аппаратов и совместного отсоса пара и конденсата. Создаваемый водокольцевыми насосами вакуум равен не менее 70 % при производительности 0,75—50 м³/мин.

Для выбора вакуум-насоса необходимо знать количество отсасываемого воздуха (кг/с):

$$L_{\text{возд}} = 2,5 \cdot 10^{-5} (D + W_0) + 0,01D$$

Объемная производительность $V_{\text{возд}}$ (м³/с) вакуум-насоса

$$V_{\text{возд}} = \frac{288 L_{\text{возд}} (273 + t_{\text{возд}})}{p - p_n}$$

где 288 — газовая постоянная для воздуха, Дж/(кг·К); $t_{\text{возд}}$ — температура откачиваемого воздуха, К; $t_{\text{возд}} = t_{\text{к.н}} + 4 + 0,1 (t_{\text{к.к}} - t_{\text{к.н}})$; p — давление в конденсаторе, Па; p_n — парциальное давление пара в конденсаторе, при $t_{\text{возд}}$, Па.

Таблица 11.4. Техническая характеристика одноступенчатых пластинчатых вакуум-насосов

Показатели	ВВН-0,75	ВВН-1,5	ВВН-3	ВВН-6	ВВН-12	ВВН-25	ВВН-50
Номинальная производительность, м ³ /мин	0,75	1,5	3,0	6,0	12,0	25,0	50,0
Предельное давление, кПа	14,6	14,6	10,2	5,8	2,06	2	2
Вакуум, %, не менее	70	70	70	70	70	70	70
Мощность электродвигателей, кВт	1,3	2,1	6,5	12,5	20	48	94

Глава 12. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕМБРАННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ РАСТВОРОВ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

К мембранным процессам разделения растворов относятся обратный осмос, ультрафильтрация, микрофильтрация, диализ, электродиализ, испарение через мембрану. Мембранные процессы происходят в мягких технологических режимах, что очень важно при работе с лабильными веществами. Мембранные методы позволяют одновременно осуществлять очистку и концентрирование растворов. Кроме того, они протекают без фазовых превращений перерабатываемого продукта и без подвода тепла при температуре окружающей среды, что способствует значительному снижению потерь биологически активных веществ. Эти процессы позволяют достичь очень высоких степеней концентрирования (до 250) и получать концентраты с содержанием сухих веществ до 50 %. Мембранные установки сравнительно просты, невелики по габаритам, экономичны и могут быть автоматизированы.

Мембраны, применяемые для ультрафильтрации, задерживают молекулы размером от 5 до 50 нм, т.е. крупные органические молекулы. Мембраны для обратного осмоса задерживают молекулы размером 2,5 нм при работе под высоким давлением (от 4 до 10 МПа).

Разделяющая способность мембран определяется способностью задерживать частицы определенных молекулярной массы и размера. На рис. 12.1 приведена схема выбора метода разделения растворов в зависимости от величины находящихся в них частиц.

К недостаткам процессов мембранного разделения относятся необходимость тщательной подготовки и очистки растворов, возникновение концентрационной поляризации — повышенной концентрации растворенного вещества у поверхности мембран и образование значительных количеств пермеатов, требующих утилизации или очистки перед сбросом в канализацию.



Рис. 12.1. Размеры частиц

12.1. ТЕХНИКА МЕМБРАННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ

За миллионы лет эволюции в клетках живых организмов выработался универсальный и совершенный метод разделения растворов с помощью полупроницаемых мембран. Примером таких мембран являются оболочки животных и растительных клеток, благодаря которым осуществляется обмен веществ между клеткой и внешней средой.

12.1.1. Ультрафильтрационные мембраны

Ультрафильтрационные полупроницаемые мембраны являются пористыми мембранами, в которых существует система сквозных каналов, обеспечивающих фазовую проницаемость компонентов разделяемой смеси. Поры в этих мембранах образуют лабиринтную систему связанных между собой каналов или могут быть изолированными друг от друга. Полупроницаемые мембраны являются основным рабочим элементом ультрафильтрационных установок, позволяющим выделять растворимые вещества с молекулярной массой в диапазоне 1200—3 000 000. Промышленные мембраны изготовляются из пористых анизотропных ацетатцеллюлозных пленок двухслойной структуры, состоящей из тонкого поверхностного слоя толщиной 0,25 мкм, лежащего на губчатой микропористой подложке толщиной 100 мкм. Основная масса мембраны пористая, нижняя матрица служит несущей основой для поверхностного плотного слоя, обеспечивая механическую прочность мембраны. Плотный активный слой мембраны определяет ее задерживающую способность по каждому компоненту разделяемой смеси, в нем и происходит процесс разделения. Микроструктура активного слоя с определенным размером пор определяет степень концентрирования вещества.

Относительно механизма ультрафильтрации имеется ряд теорий, которые сводятся к двум общим представлениям. В одном случае ультрафильтрацию представляют как капиллярное проникновение веществ через поры разного диаметра в зависимости от молекулярной массы. В этом случае физическая структура мембраны играет решающую роль. Другие исследователи полагают, что вещества раствора диффундируют через материал мембраны, предварительно растворившись в нем. Здесь на первый план выступают химическое строение мембраны, силы взаимодействия между растворенными веществами и полимером.

В настоящее время основой мембран служат различные материалы: металлическая фольга, пористое стекло, графит и др. Основные требования, предъявляемые к искусственным мембранам, следующие: высокая селективность, высокая проницаемость, химическая стойкость и биологическая инертность к разделяемым растворам, стабильность характеристик в процессе эксплуатации, достаточно высокая механическая прочность, долговечность, возможность регенерации и низкая стоимость.

В настоящее время в СССР изготовляются семь марок промышленных ультрафильтрационных мембран из ацетата целлюлозы типа «Владипор»: УАМ-30, 50М, 100М, 150М, 200М, 300М и 500М, отличающихся друг от друга диаметром пор (от 2 до 60—70 нм) и соответственно селективностью и проницаемостью. Мембрана УАМ-30 с наименьшим диаметром пор может быть использована для концентрирования биологически активных веществ с молекулярной массой от 10 000, а мембрана УАМ-500 с наибольшим диаметром пор — для концентрирования веществ с молекулярной

Таблица 12.1. Характеристика селективных мембран типа «Владипор»

Фермент	Молекулярная масса	Мембрана
Щелочная протейназа из <i>Bac. subtilis</i>	20 000—23 000	УАМ-150, УАМ-200
Нейтральная протейназа из <i>Bac. subtilis</i> шт. 103	45 000	УАМ-200
Ренин из <i>Bac. mesentericus</i> шт. ПБ	40 000—50 000	УАМ-200
Липаза из <i>Asp. awamori</i>	43 000—50 000	УАМ-200
Целлюлоза из <i>Sedridium</i> и <i>Candidum</i>	60 000	УАМ-300
Пектиназа из <i>Asp. awamori</i> 16	80 000	УАМ-300
Глюкоамилаза из <i>Asp. niger</i>	97 000	УАМ-300

массой от 50 000. Однако при выборе мембран следует учитывать, что кроме молекулярной массы на селективность мембраны существенное влияние оказывает стерический фактор, характеризующий пространственную структуру молекул концентрируемого вещества, а также способность многих биологически активных веществ к агрегации. Поэтому для каждой конкретной системы мембрана подбирается опытным путем.

Рекомендуемые селективные мембраны типа «Владипор» из ацетата целлюлозы для концентрирования и очистки некоторых ферментов методом ультрафильтрации приведены в табл. 12.1.

Учитывая термолабильность растворов, процесс ультрафильтрации проводят при комнатной или более низкой температуре, для чего исходный раствор охлаждают в процессе рециркуляции.

12.1.2. Полимерные волокна

Перспективными селективными материалами для ультрафильтрации являются полые полимерные волокна. Они представляют собой капилляры диаметром 20—100 мкм и толщиной пористой стенки 10—50 мкм. Формирование полых волокон производится путем продавливания расплава полимера через специальные фильеры. В качестве материалов для изготовления полых волокон используются ароматические полиамиды, фенилон, полиакрилонитрил и т. п.

Пучки волокон прикрепляются к внутреннему элементу ультрафильтрационного аппарата, создавая поверхность площадью до 30 000 м². В трубку диаметром 35 см можно поместить до 28 млн. волокон. При этом производительность достигает 175 м³ воды на 1 м³ объема сосуда.

К преимуществам полых волокон относятся возможность создания разделительных элементов с высокой плотностью упаковки,

транспортировку и хранение в сухом виде, способность выдерживать высокие давления. Однако большим недостатком полимерных волокон является трудность выявления и замены поврежденных волокон.

Одной из основных характеристик полупроницаемых мембран является их водопроницаемость. Промышленные мембраны, применяемые для ультрафильтрации, характеризуются водопроницаемостью до 300 л/(м²·ч) и более, однако при концентрировании и очистке ферментных и других биологически активных растворов удельная производительность их значительно ниже — не более 30—40 л/(м²·ч).

В процессе работы с течением времени производительность мембраны снижается.

12.1.3. Полые волокна

Полые волокна из нецеллюлозного материала представляют собой тонкие трубки с внутренним диаметром 0,2 мм. Эти неионные химически инертные волокна обладают анизотропической структурой. При прохождении потока через полое волокно у внутренней поверхности создается высокое скалывающее усилие, снижающее концентрационную поляризацию. Повышенное давление в просвете волокна вытесняет растворитель, низкомолекулярные вещества и соли через стенки волокна, а удержанные вещества концентрируются в циркулирующем потоке. Волокна комплектуются в пучки по 1000 шт. и герметически укладываются в прозрачные пластиковые гильзы, благодаря чему можно получить большие площади поверхности фильтрования при небольшом объеме.

Способность мембран селективно удерживать растворенное вещество выражается коэффициентом удержания:

$$K_{уд} = \ln \frac{n_l}{n_0} / \ln \frac{V_0}{V_l},$$

где n_l — конечная концентрация макромолекулярных компонентов в удержанном материале, частиц на 1 см³; n_0 — исходная концентрация макромолекулярных компонентов, частиц на 1 см³; V_0 — исходный объем, м³; V_l — конечный объем, м³.

Скорость потока через мембрану зависит от типа удерживаемых растворенных веществ, их растворимости, концентрации и диффузионных свойств, а также от мембраны, площади ее рабочей поверхности, давления, температуры и вязкости.

Скорость потока сквозь мембрану обратно пропорциональна логарифму концентрации растворенных веществ с учетом влияния явлений концентрационной поляризации. Проницаемость мембраны снижается с повышением концентрации и при ведении процесса при температурах ниже комнатной.

12.1.4. Виды мембранных аппаратов

В настоящее время широко применяются четыре основных типа конструкций мембранных установок: с плоскими фильтрующими элементами, с трубчатыми фильтрующими элементами, с рулонными фильтрующими элементами и с селективными мембранами в виде полых волокон. Первые три типа аппаратов экипируются идентичными плоскими полупроницаемыми мембранами в виде пленок и отличаются только способами упаковки и закрепления мембраны.

Важной характеристикой мембранных аппаратов является плотность упаковки мембраны — площадь поверхности селективных мембран на единицу объема аппарата. Ниже приведены плотности упаковки мембран в аппаратах различных типов ($\text{м}^2/\text{м}^3$).

Трубчатые	60—200
Рулонные	300—800
Плоскорамные	60—300
С полыми волокнами	До 30 000

В аппаратах рулонного типа одна или несколько мембран 3 заключены между дренажом 4 и сеткой-сепаратором (рис. 12.2). Одна сторона такого фильтрующего материала герметично закрепляется на трубке для отвода фильтрата 1, и весь материал свертывается на эту трубку в виде рулона 2. Быстрота замены фильтрующих элементов делает аппараты рулонного типа удобными в обслуживании. Недостатками аппаратов этого типа являются высокие гидравлические сопротивления и накопление осадка в сетках-сепараторах.

Аппараты плоскорамные. В аппаратах плоскорамного типа опорные пластины с дренажными устройствами для отвода фильтрата покрываются с двух сторон селективными мембранами и собираются в пакет таким образом, что между ними образуется щелевой канал для протока исходного раствора (рис. 12.3). Аппараты плоскорамного типа отличаются простотой сборки и надежностью

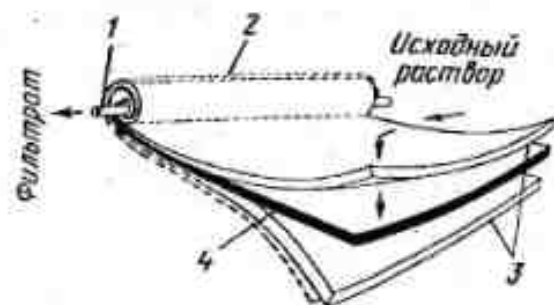


Рис. 12.2. Схема укладки селективных мембран в аппарате рулонного типа

Рис. 12.3. Схема мембранного аппарата плоскорамного типа:

1 — фланец; 2 — стяжка; 3 — корпус камеры; 4 — пористая подложка; 5 — селективная мембрана

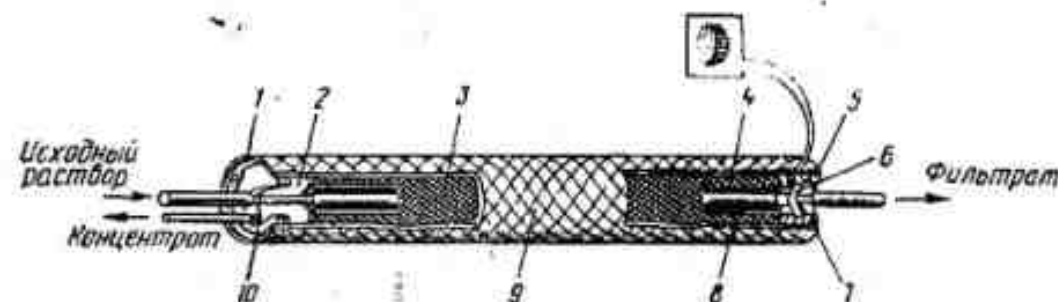
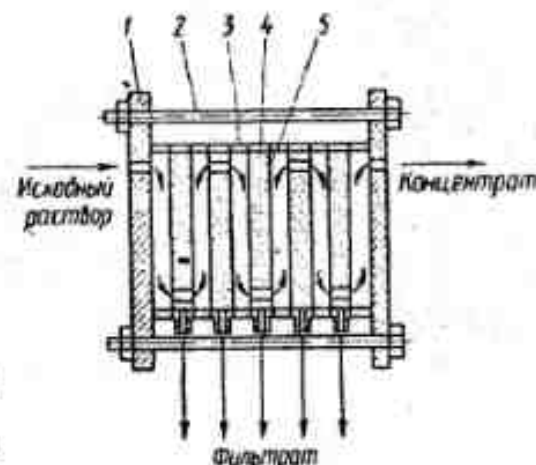


Рис. 12.4. Мембранный аппарат на основе полых волокон:

1 — стопорное кольцо; 2 — плита; 3 — защитная сетка; 4 — полые волокна; 5 — плита из эпоксидной смолы; 6 — поддерживающий пористый диск; 7, 10 — днища; 8 — перфорированная распределительная трубка; 9 — корпус из стекловолокна

работы. Их недостатками следует считать неравномерное распределение разделяемого раствора в межмембранных каналах, низкую плотность упаковки и высокую материалоемкость.

Установки с полыми волокнами. Аппараты на основе полых волокон состоят из цилиндрического корпуса, в который уложены на опорную трубку или без опоры полые волокна. С боков цилиндра волокна закрыты с одной или двух сторон плитами из эпоксидной смолы. Аппараты на основе полых волокон обладают очень высокой плотностью упаковки. Однако растворы, разделяемые в аппаратах на основе полых волокон, должны быть особенно тонко очищены, поскольку от их предварительной очистки значительно зависит эффективность процесса разделения.

Фирмы «Дау Ремикл» и «Дюпон» разработали конструкции микрофильтрующих блоков (рис. 12.4) с использованием полого волокна из ацетатцеллюлозы и нейлона-12. Установка состоит из пучков (по 10 000 шт.) полых волокон, помещенных в трубу-цилиндр. Компактность их упаковки достигает $10\,000\text{ м}^2/\text{м}^3$. Стенки полых волокон служат полупроницаемой мембраной. Жидкость под давлением подается к пучку со стороны корпуса, а ультрафильтрат выходит с обоих концов пучка.

Фирмой «Дюпон» выпускаются установки производительностью от 5 до 1000 $\text{м}^3/\text{сут}$. Фильтрующие элементы установки производительностью 34 $\text{м}^3/\text{сут}$ имеют диаметр 240 и длину 1220 мм.

В Советском Союзе и за рубежом для мембранного концентрирования и очистки ферментных растворов в основном применяются установки плоскорамного и трубчатого типов.

12.2. ПРОМЫШЛЕННЫЕ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

12.2.1. Ультрафильтрационные установки УКФ-40 и УКФ-180

Во ВНИИбиотехники разработаны ультрафильтрационные установки для концентрирования и очистки ферментных и других биологически активных растворов УКФ-40 и УКФ-180. Процесс ультрафильтрации осуществляется в мембранных блоках плоскорам-

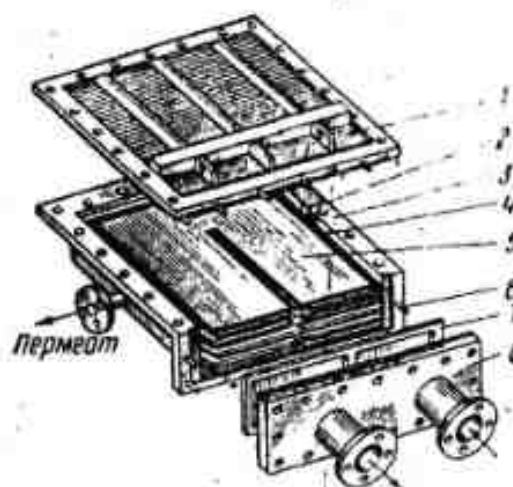


Рис. 12.5. Ультрафильтрационный блок конструкции ВНИИбиотехники

ного типа. Площадь рабочей поверхности каждого блока составляет 10—12 м².

Ультрафильтрационный блок (рис. 12.5) представляет собой коробчатый корпус 3, в который укладывается пакет плоских фильтрующих элементов 5, разделенных между собой прокладками специальной фор-

мы 4 таким образом, что между каждой парой соседних фильтрующих элементов образуется щелевой канал глубиной 1,0—1,5 мм, по которому протекает концентрируемый раствор. Для предотвращения смещения пакета при работе в корпусе установлены фиксаторы 2, в которые упираются выступы фильтрующих элементов и разделительных прокладок. Пакет уплотняется в корпусе при помощи верхней крышки 1. С торцевой стороны блока шпильками 6 через герметизирующую прокладку 7 крепится передняя крышка 8, на которой расположены штуцера для входа исходного раствора и выхода концентрата. Штуцер для вывода пермеата расположен на боковой стороне корпуса.

Фильтрующий элемент блока состоит из опорной полипропиленовой пластины прямоугольной формы, на которой с двух сторон имеются поперечные и продольные насечки глубиной 0,3 мм. Пластина обертывается полосой капроновой ткани для сит № 32—49. Сверху накладывается селективная мембрана таким образом, что один торец фильтрующего элемента закрыт мембраной, а три других открыты и через них отводится пермеат. Ультрафильтрационный блок состоит из 20—25 фильтрующих элементов и 20—24 ацетатцеллюлозных мембран. В качестве опорных пластин можно применять полистирол, органическое стекло, мипласт и др.

В качестве прокладок применяются паронит, резина и релин различной толщины. Прокладки из релина хорошо уплотняют зазоры между фильтрующими элементами и при сильном сжатии пакета не приводят к механическим повреждениям ультрафильтрационных мембран.

Преимуществами таких ультрафильтрационных блоков являются герметичность, надежная фиксация фильтрующих элементов и разделительных прокладок и незначительное количество разъемных частей и деталей; недостатком — трудоемкость сборки и разборки блока.

Установка УКФ-40 (рис. 12.6) работает следующим образом. Стерильный исходный раствор из сборника 1 через бактериальный фильтр 2 и предфильтр 5 питающим насосом 3 подается в замкнутый циркуляционный контур. Циркуляционный контур включает

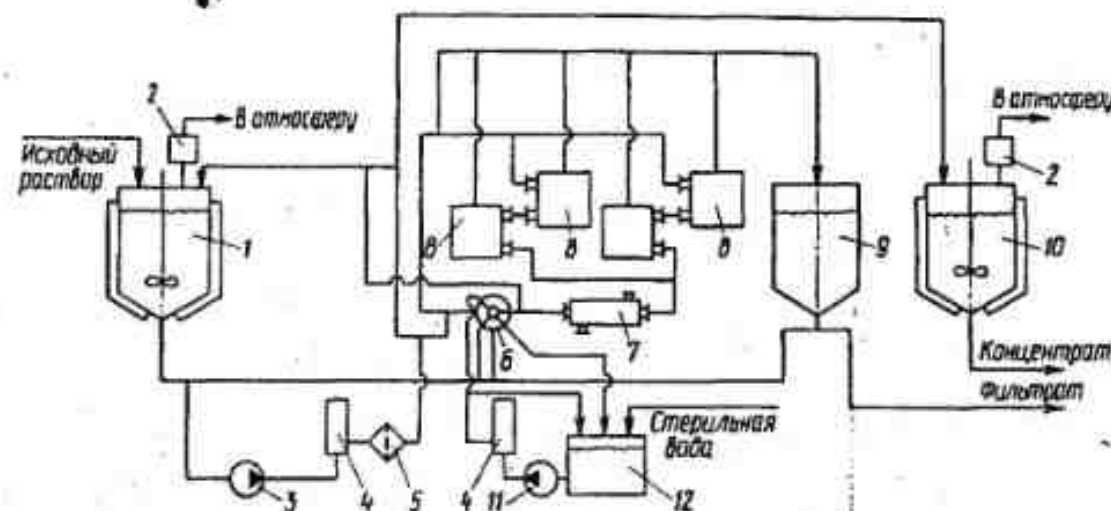


Рис. 12.6. Ультрафильтрационная установка УКФ-40:

1 — сборник исходного раствора; 2 — фильтр бактериальный; 3 — питающий насос; 4 — демпфер; 5 — предфильтр; 6 — циркуляционный насос; 7 — теплообменник; 8 — ультрафильтрационный блок; 9 — сборник фильтрата; 10 — сборник концентрата; 11 — насос; 12 — сборник стерильной воды

в себя циркуляционный насос 6, теплообменник 7 и четыре ультрафильтрационных блока 8. После циркуляционного насоса раствор распределяется на два параллельных потока, каждый из которых проходит через два последовательно соединенных ультрафильтрационных блока, снова объединяется в один поток и направляется в теплообменник. Рабочее давление в системе регулируется клапаном. Температура раствора поддерживается с помощью теплообменника в пределах 10 °С. Пермеат, содержащий растворы низкомолекулярных веществ, поступает в сборник 9, а концентрат после многократной рециркуляции до заданной степени концентрации поступает в приемник концентрата 10.

Параллельно-последовательное соединение ультрафильтрационных блоков позволяет заменять в процессе работы вышедшие из строя аппараты и делает ультрафильтрационную установку более удобной в обслуживании. Для предотвращения попадания посторонней микрофлоры в систему ультрафильтрации циркуляционный насос снабжен двойным торцевым уплотнением, в которое из сборника 12 насосом 11 подается стерильная вода. За насосами установлены демпферы (гидроаккумуляторы) 4 для сглаживания пульсации раствора. На линиях отвода концентрата и пермеата установлены герметизированные ротаметры, а сообщение с атмосферой осуществляется через бактериальные фильтры.

По окончании процесса ультрафильтрационные блоки, сборники и арматуру промывают водой и определяют содержание фермента в промывной воде. В последующем цикле концентрирования фермент извлекается из промывных вод.

Установку стерилизуют 1 %-ным водным раствором монохлорамин или другим антисептиком в течение 15—20 мин, затем промывают стерильной водой в течение 30—40 мин, после чего технологический цикл повторяется.

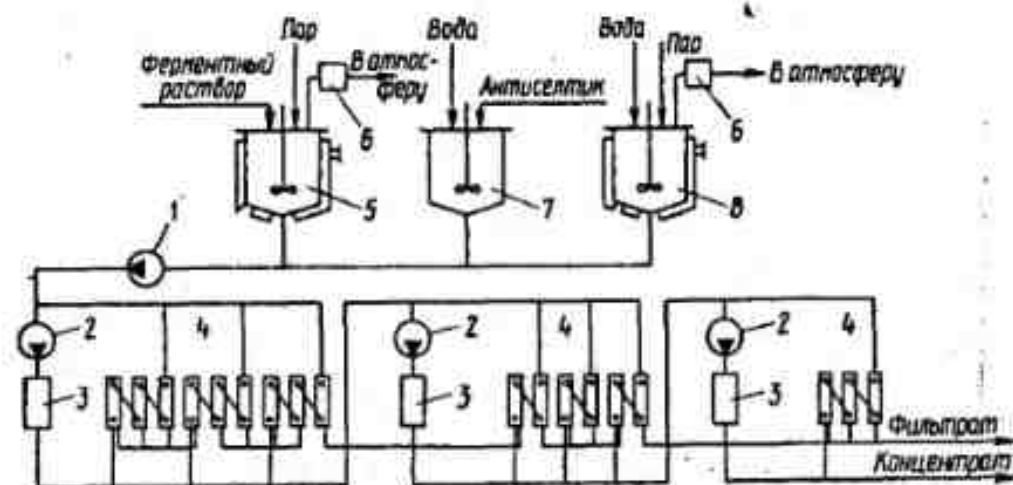


Рис. 12.7. Ультрафильтрационная установка УКФ-180

Высокопроизводительная автоматизированная непрерывнодействующая ультрафильтрационная установка УКФ-180 (рис. 12.7) используется в крупнотоннажных производствах ферментных и других биологически активных препаратов.

Установка состоит из 18 ультрафильтрационных блоков 4 общей площадью рабочей поверхности 180 м². Блоки сгруппированы в три последовательно соединенные ступени концентрирования. Каждая ступень представляет собой замкнутый циркуляционный контур, в который кроме ультрафильтрационных блоков входят циркуляционный насос 2 и теплообменник 3. Первый контур состоит из девяти, второй — из шести, третий — из трех блоков.

В каждой ступени концентрируемая жидкость проходит последовательно три блока.

В первой ступени имеются три параллельных потока, во второй — два и в третьей — один. Из первой ступени раствор поступает во вторую и затем в третью, непрерывно освобождаясь от низкомолекулярных веществ. Такая система распределения потока позволяет достигать скорости движения жидкости в каналах до 2 м/с, сводить к минимуму гидравлическое сопротивление и энергозатраты. В ходе процесса количество пермеата по ступеням системы уменьшается, а степень концентрирования повышается. Основное количество пермеата получается на первой ступени, меньшее — на второй и еще меньшее — на третьей, поэтому площадь поверхности фильтрации на первой ступени составляет 90, на второй — 60 и на третьей — 30 м².

Исходный раствор подается в гидросистему установки из сборника 5 питающим насосом-дозатором 1, создающим рабочее давление 0,6 МПа.

Установка УКФ-180 оснащена системой автоматического регулирования соотношения расходов пермеата и концентрата, что позволяет непрерывно регулировать отбор концентрата в зависимо-

Таблица 12.2. Технические характеристики ультрафильтрационных установок

Показатели	УКФ-40	УКФ-180
Производительность* по исходному раствору, м ³ /ч	0,45	2,0
Кратность концентрирования по объему, число раз	10 и более	10 и более
Площадь поверхности мембран, м ²	40	180
Максимальная температура, °С	50	50
Рабочее давление, МПа	0,6	0,6
Диапазон pH**	5—8	5—8
Мощность, кВт	15	122
Удельная мощность, кВт/м ²	0,37	0,68
Габаритные размеры, мм	2150×900×2800	10 200×5300×2800
Масса, кг	1800	9700

* Производительность зависит от параметров применяемых мембран и свойств концентрируемой жидкости.

** При использовании мембраны марки УАМ из ацетата целлюлозы.

сти от заданной кратности концентрирования и количества полученного фермента.

Установка снабжена емкостями для раствора антисептика 7 и стерильной воды 8, а также системой подачи воды в ультрафильтрационные блоки во время остановки подачи раствора (для сохранения ацетатцеллюлозных мембран). Выходящий из системы воздух очищается на бактериальных фильтрах 6.

Производительность установки УКФ-180 1800 л/ч.

Недостатком ультрафильтрационных установок является трудность замены отработавших селективных мембран.

12.2.2. Ультрафильтрационные установки модульного типа

В последние годы в отечественной и зарубежной практике создания аппаратуры для мембранной технологии наметилась тенденция по разработке установок модульного типа. В основе этих разработок лежит принцип единовременной замены отработавших ресурс, собранных в модуль мембран. Применение ультрафильтрационных установок модульного типа позволит значительно облегчить их обслуживание и исключить трудоемкие работы по установлению селективных мембран.

Ультрафильтрационные установки УФ-15/20, УФ-15/40, и УФ-15/2000. Ультрафильтрационные установки УФ-15/20 периодического действия предназначены для концентрирования и очистки ферментных и других биологически активных растворов.

В установку УФ-15/20 (рис. 12.8) входит мембранный аппарат, цилиндрический корпус которого герметизирован с двух сторон фланцевыми крышками с эллиптическими днищами. В корпусе на направляющих установлены два мембранных модуля плоскора-

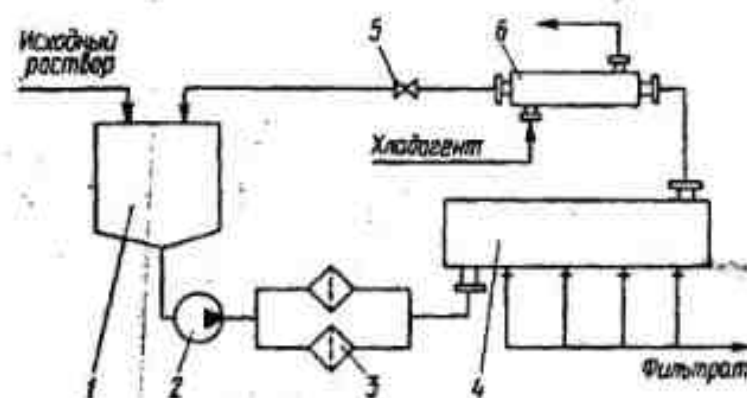


Рис. 12.8. Схема ультрафильтрационной установки УФ-15/20

ного типа с площадью поверхности каждого 12,5 м². Модуль состоит из пакета плоских фильтрующих элементов в виде пористых полимерных пластин, обернутых лентообразной селективной мембраной. В местах стыка мембрана склеивается внахлестку. Пакет зажимается между фланцами стяжками, имеющими внутри полые каналы для отвода пермеата. Наружу пермеат выводится через ниппели, расположенные на корпусе аппарата.

Из расходной емкости 1 раствор прокачивается циркуляционным насосом 2 через один из параллельно установленных предфильтров 3, мембранный аппарат 4, теплообменник 6 и возвращается в расходную емкость. Давление в системе регулируется дроссельным вентилем 5. Степень концентрирования определяется по уменьшению объема в расходной емкости. Установка снабжена плунжерным насосом-дозатором для подачи стерильной воды в двойное торцевое уплотнение циркуляционного насоса.

Ультрафильтрационная установка УФ-15/40 отличается от установки УФ-15/20 тем, что в нее входят два последовательно соединенных мембранных аппарата. Общая площадь рабочей поверхности мембран 50 м².

Техническая характеристика установки УФ-15/40

Производительность по исходному раствору, м ³ /сут	До 4
Кратность концентрирования раствора	До 10
Площадь поверхности мембран, м ²	50
Рабочее давление, МПа	1,5
Количество электроприводов	2
Удельная мощность электродвигателей, кВт/м ²	13
Габаритные размеры, мм	3600×1400×2200
Масса, кг	1670

Разработана ультрафильтрационная установка УФ-15/2000 с общей поверхностью фильтрации 2000 м². Установка снабжена мембранными аппаратами модульного типа, которые по конструктивному устройству аналогичны аппаратам, применяемым в установке УФ-15/20.

Установка УФ-15/2000 состоит из четырех агрегатов УФ-15/500 периодического действия, работающих в автономном режиме. Каждый агрегат представляет собой самостоятельное звено и может полностью обеспечить заданный технологический режим. В состав

Таблица 12.3. Технические характеристики ультрафильтрационного агрегата УФ-15/500

Показатели	УФ-15/500	УФ-15/2000
Режим работы	Периодический	
Производительность* по исходному раствору, м ³ /ч	3,75	15,0
Кратность концентрирования	До 10	До 10
Площадь поверхности мембран, м ²	500	2000
Количество мембранных аппаратов	20	80
Максимально допустимая температура**, °C	50	50
Рабочее давление, МПа	До 1,0	До 1,0
Диапазон pH**	5—8	5—8
Количество электроприводов	11	44
Мощность электродвигателей, кВт	181	725
Удельная мощность, кВт/м ²	0,36	0,36
Габаритные размеры, мм	12 000×15 000× × 5000	48 000×15 000× × 5000
Масса, кг	32 000	130 000

* Производительность зависит от параметров применяемых мембран и свойств концентрируемой жидкости.

** При использовании мембран марки УАМ из ацетата целлюлозы.

ультрафильтрационного агрегата входит четыре циркуляционных контура, каждый из которых состоит из циркуляционного насоса, теплообменника и пяти мембранных аппаратов, соединенных последовательно.

Ультрафильтрационный агрегат УФ-15/500 работает следующим образом: из расходной емкости раствор самотеком заполняет циркуляционные контуры, после чего включается питающий насос, подающий раствор из исходной емкости в первый контур, и включаются циркуляционные насосы. Таким образом часть жидкости циркулирует по контуру, а часть перетекает из контура в контур, постепенно увеличивая степень концентрирования. При достижении в четвертом контуре заданной концентрации срабатывает датчик и открывается клапан вывода пермеата из контура в следующий. В первый контур постоянно подается свежий раствор в количестве, равном отводу пермеата из каждого контура и концентрата из четвертого контура.

Система обвязки трубопроводами позволяет отключить любой из циркуляционных контуров без останова агрегата.

Характеристика установок УФ-15/500 и УФ-15/2000 приведена в табл. 12.3.

Ультрафильтрационные установки трубчатого и рулонного типов. НИИХиммашем разработаны периодические установки для разделения растворов методом ультрафильтрации рулонного и трубчатого типов. Рулонные аппараты предназначены для разделения относительно чистых растворов, а трубчатые — для растворов, содержащих взвеси.

Установка МР-70-2000Т. Установка состоит из мембранных аппаратов, циркуляционного насоса, рамы, пульта управления и оснащена контрольно-измерительными приборами. В ее состав не входят теплообменное и емкостное оборудование.

В цилиндрическом корпусе мембранного аппарата имеется три штуцера: для входа разделяемого раствора, выхода концентрата и выхода фильтрата. В корпусе устанавливается модуль трубчатого или рулонного типа. Модуль трубчатого типа состоит из параллельных пористых стеклопластиковых трубок диаметром 12 мм, на внутренней поверхности которых наклеены селективные мембраны.

Модуль рулонного типа представляет собой спирально навитый на перфорированную трубку слой, состоящий из полупроницаемых мембран, капроновой сетки и капроновой ткани.

Раствор подается насосом во внутренние полости разделительных элементов к поверхностям мембран. Пермеат отводится индивидуально от каждого модуля к коллектору. Частично сконцентрированный раствор из аппаратов возвращается в приемную емкость на рециркуляцию.

Установки конструкции НИИХиммаша при работе с биологически активными веществами целесообразно доукомплектовывать теплообменниками во избежание перегрева раствора при циркуляции.

Техническая характеристика установки МР-70-2000Т

Производительность по пермеату, м ³ /сут	До 24
Площадь поверхности мембран, м ²	35
Рабочее давление, МПа	0,35
Установленная мощность, кВт	110
Удельная мощность, кВт/м ²	3,14
Габаритные размеры, мм	4900×4200×2500
Масса, кг	5200

На основе вышеописанной установки НИИХиммашем разработан ультрафильтрационная установка большой единичной мощности производительностью по фильтрату до 3 м³/ч, предназначенная для концентрирования ферментных и других биологически активных растворов.

12.2.3. Модульные ультрафильтрационные установки непрерывного действия конструкции ВНИЭКИпродмаша

Во ВНИЭКИпродмаше были разработаны модульные ультрафильтрационные установки типа фильтр-пресса для концентрирования жидких продуктов в микробиологической, медицинской и химической промышленности.

Ультрафильтрационная установка А1-ОУС. Установка (рис. 12.9) состоит из шести секций 1—6, каждая из которых включает циркуляционный насос 9, теплообменник 10, соединенные с общим коллектором для отвода концентрата и фильтрата.

Секции соединены между собой последовательно, при этом в первых четырех секциях установлены модули 7 с рабочей поверх-

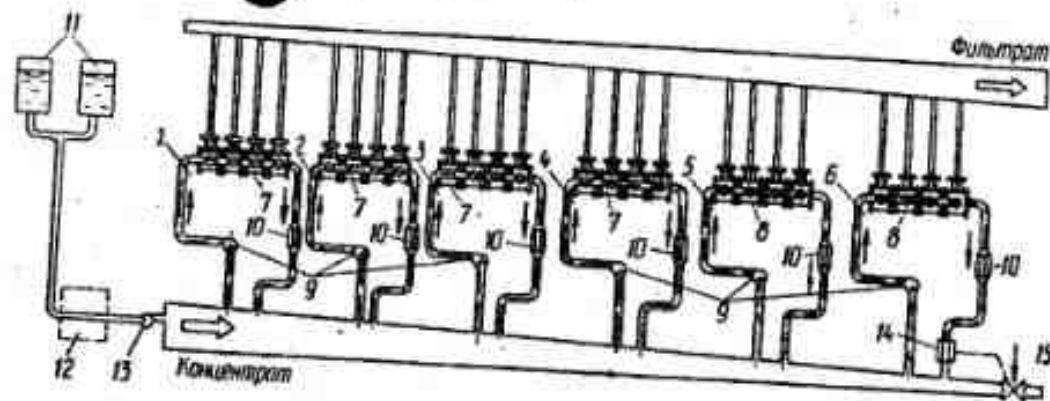


Рис. 12.9. Ультрафильтрационная установка А1-ОУС

ностью 7,7 м², состоящие из 53 фильтрующих элементов. В двух последних секциях установлены модули 8 с поверхностью фильтрации 3,6 м² из 25 фильтрующих элементов.

Из двух емкостей 11 исходный продукт поступает в теплообменник 12, где он подогревается и затем питающим насосом 13 подается в ультрафильтрационный аппарат. В секции 1 продукт циркулирует над мембраной 1,6—2,0 см/с. При этом он многократно циркулирует в контуре секции. Фильтрат непрерывно отводится от модулей, а частично сконцентрированный продукт поступает в секцию 2, и процесс повторяется. Дальнейшее концентрирование осуществляется аналогично во всех последующих секциях. Из секции 6 выходит готовый продукт заданной концентрации.

Для автоматического регулирования в контуре секции 6 установлен рефрактометр 14, функционально связанный с клапаном 15, расположенным на выходе из аппарата.

Техническая характеристика ультрафильтрационной установки А1-ОУС

Производительность (по подсырной сыворотке), л/ч	5000—6700
Содержание сухих веществ в концентрате, %	25
Рабочая поверхность ацетатцеллюлозных мембран, м ²	152
Мощность электродвигателей, кВт	77,8
Габаритные размеры, мм	16 500×3300×2500
Масса, кг	16 000

Модульная ультрафильтрационная установка А1-ОУВ. Другой ультрафильтрационной установкой для концентрирования белковых продуктов является установка А1-ОУВ, в которой применяются высокопрочные полимерные мембраны на подложке. Параллельно-последовательное соединение фильтрующих элементов позволяет создавать модули различной рабочей поверхности.

Установка А1-ОУВ (рис. 12.10) состоит из емкости с исходным раствором 4, питающего насоса 5, теплообменника 6 с обводной линией 7 и заслонкой 5, двух фильтров тонкой очистки 8 и ультра-

Таблица 12.5. Техническая характеристика крупнотоннажных ультрафильтрационных установок фирмы DDS

Показатели	F35-360	F35-1700
Производительность по исходному раствору, м ³ /ч	8	38
Площадь поверхности мембран, м ²	360	1700
Количество мембранных модулей в установке	14	63
Количество агрегатов (линий) в установке	1	4
Рабочее давление, МПа	1	1
Скорость потока раствора через модуль, м/с	1,5	1,5
Мощность электродвигателя, кВт	298	1341
Удельная мощность, кВт/м ²	0,83	0,72
Габаритные размеры, мм		
установки	4 900×1900×2000	
агрегата	11 900×3600×2000	

Установка состоит из циркуляционного насоса 4, трех мембранных элементов 1 из полого волокна, фильтра для тонкого осветления раствора 3, пластинчатого теплообменника для охлаждения раствора в процессе рециркуляции и щита управления 2.

Исходная жидкость, подлежащая концентрированию, подается мононасосом либо многоступенчатым центробежным насосом в пресс-фильтр для тонкой очистки раствора 3, а затем под давлением 0,6—0,8 МПа — в ультрафильтрационные патроны 1. Внутри патрона жидкость протекает по многочисленным желобкам (каналам), прилегающим к поверхности мембраны, и постепенно фильтруется. Наличие большого количества каналов позволяет развивать боль-

шие скорости потока, что способствует уменьшению поляризационной концентрации.

Концентрат поступает в резервуар и рециркулирует до заданной конечной концентрации, а пермеат, собираясь на внешней стороне трубок, по прозрачной трубе направляется в сборник. Температура концентрирования может быть установлена в пределах от 4 до 90 °С, величина рН — от 1 до 12. Детали установки, контактирующие с концентрируемым раствором, изготавливаются из нержа-

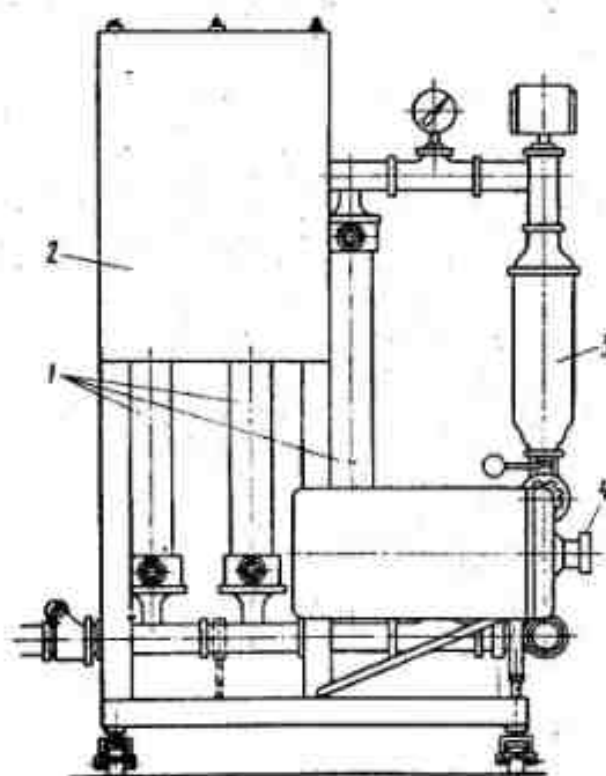


Рис. 12.11. Ультрафильтрационная установка фирмы «Ромикон» (Бельгия)

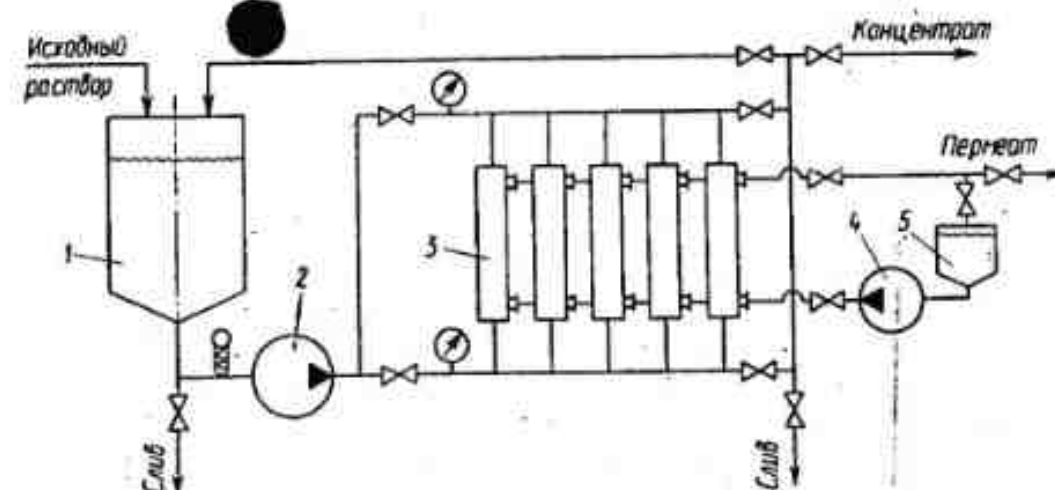


Рис. 12.12. Ультрафильтрационная установка HF 10-20SS фирмы «Ромикон»

вующей стали. Установка компактна, имеет габаритные размеры 865 × 865 × 1625 мм и массу 150 кг. Производительность установки 1800 л/ч.

В состав другой установки фирмы HF10-20SS (рис. 12.12) входит сборник 1, из которого исходный раствор циркуляционным насосом 2 прокачивается через мембранные аппараты 3 и возвращается в сборник. В процессе фильтрования можно изменять направление протекающего раствора на противоположное, что осуществляется периодически при промывке капилляров. Часть отводимого из установки пермеата собирается в сборнике 5, из которого насосом 4 подается в мембранные аппараты для промывки капилляров обратным током жидкости. Производительность установки 12 000 л/ч, габаритные размеры 9000 × 2500 × 2000 мм, масса 250 кг.

Ультрафильтрационная установка фирмы «Дорр-Оливер». Установка представляет собой восьмимодульный аппарат. Каждый модуль выполнен в виде полуцилиндра с крышкой и теплообменной рубашкой, в которую заправлено четыре патрона из крупнопористого материала. Патроны выполнены в виде горизонтальных пластин толщиной 25 мм с перпендикулярно расположенными по всей длине ребрами толщиной 5 мм и покрыты ультрафильтрационной массой (мембраной). Патроны устанавливаются в модули таким образом, чтобы их ребра были расположены параллельно потоку жидкости. В верхней части расположен штуцер, соединяющийся со штуцером крышки полуцилиндра, по которому выводится пермеат, а концентрат выводится периодически после доведения исходного объема от заданного.

Система ультрафильтрации (рис. 12.13) состоит из резервуара 1 исходного раствора, питающего насоса 7 с регулируемой скоростью подачи, ультрафильтрационного аппарата 8, насоса рециркуляции 9, двухсекционного сборника концентрата 2 и системы теплообмена 3. Рабочее давление в ультрафильтрационном аппарате 0,3 МПа, температура 13 °С. Подача раствора осуше-

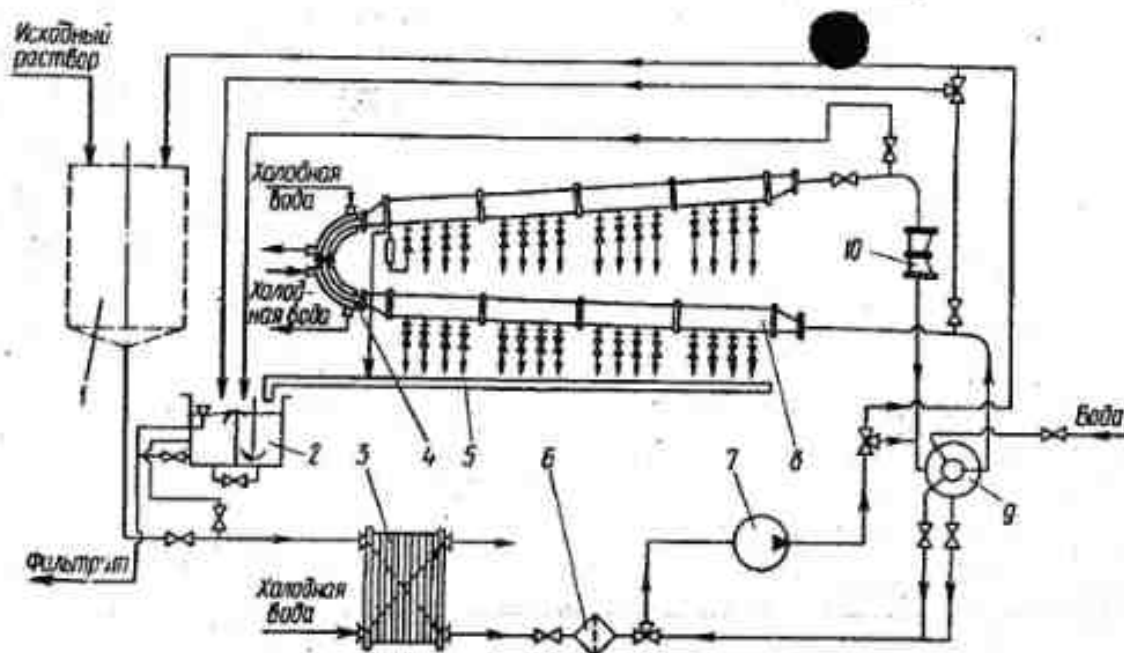


Рис. 12.13. Схема ультрафильтрационной установки фирмы «Дорр-Оливер»

ствляется давлением стерильного воздуха и регулируется таким образом, чтобы рециркуляции производилась при заданном давлении. Исходный раствор в зависимости от вязкости в процессе ультрафильтрации должен подогреваться или охлаждаться. Кратность концентрирования 25—30 раз. По окончании работы установка промывается стерильной водой и заполняется раствором антисептика. Мембраны периодически регенерируются раствором этилендиаминтетраацетатнатрия.

Модули ультрафильтрационной установки изготавливаются на основе листовых мембран из полисульфона, закрепленных на дренажных опорных пластинах, собранных в пакет и стянутых между двумя фланцами из коррозионностойкой стали. Рабочая поверхность модулей 1,34 м². Модули устанавливаются в прямоугольный корпус аппарата из коррозионностойкой стали. Монтаж четырех модулей осуществляют через торцевые фланцы, снабженные устройством для быстрого соединения аппаратов друг с другом. С помощью таких же соединяющих устройств, но меньшего размера, аппараты соединяют с трубопроводами. Фланцевые соединения герметизируются прокладками, пермеат индивидуально отводится из каждого модуля через штуцер, служащий одновременно для жесткой фиксации модуля в аппарате. Штуцера снабжены гибкими прозрачными шлангами.

Ультрафильтрационная установка фирмы «Дорр-Оливер» комплектуется четырьмя, шестью или восьмью мембранными аппаратами с площадью рабочей поверхности, соответственно 26,7; 40,1; и 53,5 м². Показанная на рис. 12.13 установка состоит из восьми модулей.

Исходный раствор из сборника 1 через теплообменник 3 и сетчатый предфильтр 6 подается питающим насосом 7 в циркуляцион-

ный контур установки, состоящий из восьми мембранных аппаратов 8, соединенных последовательно, циркуляционного насоса 9 и переточного колена 4, снабженного рубашкой. Пермеат отводится от каждого модуля индивидуально в желобообразный коллектор 5 и из него — в двухсекционный сборник 2. Количество подаваемого в систему раствора регистрируется расходомером, а количество пермеата, отводимого из установки, — другим расходомером.

Циркуляционный насос снабжен двойным торцевым уплотнением, в которое под давлением подается затворная жидкость. На линии отвода затворной жидкости из насоса смонтирован обратный клапан, предотвращающий возможность ее обратного тока. Установка снабжена термометрами, манометрами, датчиками давления, а также необходимой запорной арматурой.

Установка работает в периодическом режиме, частично сконцентрированный раствор из циркуляционного контура отводится в сборник исходного раствора, из которого снова подается на повторное концентрирование.

12.3. МЕМБРАННЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ

Установки типа УМР. Эти установки применяются для разделения и очистки промышленных стоков, а также для извлечения из сточных вод ценных продуктов методом обратного осмоса.

Установка УМР состоит из фильтра предварительной очистки, разделителей, насоса, контрольно-измерительной аппаратуры, пульта управления и соединительных трубопроводов.

Пленочные мембранные разделители применяют для разделения растворов методом обратного осмоса, а трубчатые — для концентрирования растворов методом ультрафильтрации. Установка пленочного типа состоит из цилиндрического корпуса со штуцерами для входа исходного раствора и выхода концентрата и фильтрата. Внутри корпуса расположен разделительный элемент, представляющий собой перфорированную трубку, покрытую капроновой сеткой и тремя слоями капроновой ткани, со спирально нави-

Таблица 12.6. Техническая характеристика установок типа УМР

Показатели	УФМР1/400ПО	УМР-20/400ПО
Производительность, м ³ /сут по исходному продукту	2,4	38,4
» фильтрату	0,3—1,2	6—24
Количество разделителей	1	20
Поверхность фильтрации одного разделителя, м ²	2	2
Рабочее давление, МПа	До 6	6
Потребляемая мощность, кВт	1,1	5,5
Габаритные размеры, мм	660×900×1160	1980×830×1850
Масса, кг	300	1324

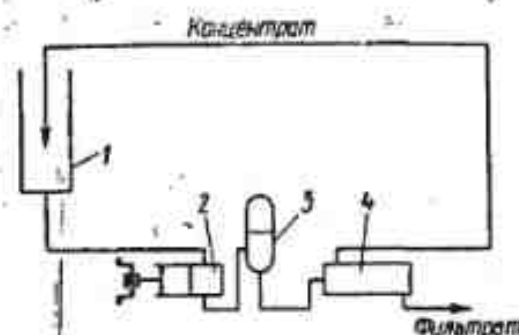


Рис. 12.14. Схема установки МР-2-50Р мембранного разделения жидких сред

тыми полупроницаемыми мембранами. Трубчатый разделительный элемент состоит из 7—10 параллельных стеклопластиковых трубок, внутри которых расположены полупроницаемые мембраны.

Исходный раствор подается насосом через входные патрубки во внутренние полости разделителей к поверхности полупроницаемых мембран. Под действием давления, создаваемого в элементах, часть осветленной жидкости проходит через патрубки для выхода фильтрата, а не прошедшие через мембраны растворенные вещества вместе с остальным растворителем отводятся через другие патрубки.

Установка типа МР. Установка (рис. 12.14) состоит из мембранных разделителей 4 с рулонными и трубчатыми элементами, насоса 2, контрольно-измерительной аппаратуры, пульта управления и соединительных трубопроводов.

Разделитель рулонного типа представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого расположена перфорированная трубка, изготовленная из стали 12Х18Н10Т. На трубку спирально навито несколько пакетов, состоящих из полупроницаемых мембран, турбулизаторов, подложек и дренажей.

В разделителе трубчатого типа вставляется блок трубчатых элементов, состоящих из группы параллельно уложенных пористых стеклопластиковых трубок, на внутренние стенки которых нанесены полупроницаемые мембраны.

Разделяемая жидкость из емкости 1 насосом 2 под давлением подается через гидроаккумулятор 3 во внутренние полости разделительных элементов 4 к поверхности полупроницаемых мембран.

Таблица 12.7. Техническая характеристика установок мембранного разделения жидких сред при температуре разделяемой среды 5—35 °С и избыточном давлении 4—8 МПа

Показатели	МР-2-50Р	МР-40-40Р	МР-20-200Р	МР-70-2000Т
Производительность по фильтрату, м³/сут	До 0,4	До 8,5	До 42	До 24
Площадь поверхности мембран, м²	2,5	50	250	35
Рабочее давление, МПа	5	4	5	0,35
Установленная мощность, кВт	1,1	5,5	47	110
Габаритные размеры, мм	1034× ×910× ×1325	2030× ×1130× ×1385	3120× ×3060× ×2000	4900× ×4210× ×2500
Масса, кг	413	1385	4233	5230

Под действием создаваемого в разделителе повышенного давления растворитель проходит через полупроницаемые мембраны и отводится через выходные патрубки для фильтрата от каждого элемента к сборному коллектору установки. Часть раствора, не прошедшая через мембраны, отводится из разделителей через выходные патрубки.

12.4. РАСЧЕТ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК И МЕМБРАННЫХ АППАРАТОВ

При разработке ультрафильтрационных установок для концентрирования растворов биологически активных веществ необходимо произвести четыре вида расчетов: технологический, гидравлический, механический и тепловой.

В задачу технологического расчета входит определение требуемой площади рабочей поверхности мембранной аппаратуры, определение материальных потоков и выбор подачи циркуляционных и питающих насосов. В случае применения многоступенчатых ультрафильтрационных систем производится распределение площадей мембранной поверхности по контурам.

Технологический расчет ультрафильтрационной установки и рабочей поверхности мембран. Для проведения технологического расчета ультрафильтрационных установок необходимо предварительно выбрать марку полупроницаемой мембраны, обеспечивающей заданную селективность, и определить основные технологические характеристики процесса концентрирования. Эти данные получают экспериментально на лабораторных установках индивидуально для каждого раствора.

Выберем схему ультрафильтрационной установки, состоящей из трех последовательно соединенных циркуляционных контуров.

Промежуточные степени концентрирования в каждом контуре n_1, n_2, n_3 устанавливаются в процессе концентрирования произвольно. При этом необходимо соблюдать условие $n = n_1 n_2 n_3$.

Пусть степени концентрирования в каждом контуре равны, т. е. $n_1 = n_2 = n_3 = \sqrt[3]{n}$. тогда производительность ультрафильтрационной установки по концентрату

$$P_k = P_r / n,$$

где P_r — производительность установки по исходному раствору.

Производительность установки по пермеату

$$P_n = P_r - P_k,$$

Количество частично сконцентрированного раствора, перетекающего из первого циркуляционного контура во второй,

$$P_{k1} = P_r / n_1.$$

Количество пермеата, отводимого из мембранных аппаратов первого циркуляционного контура,

$$P_{n1} = P_r - P_{k1}.$$

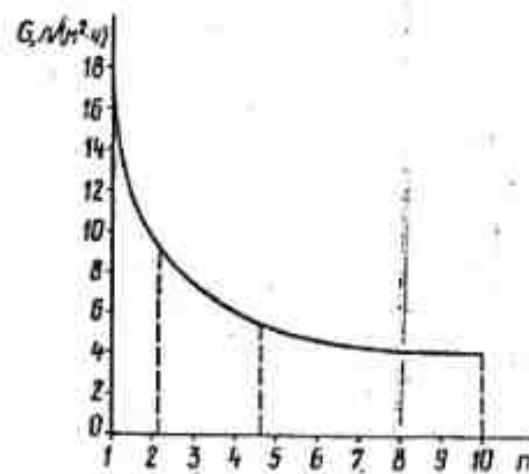


Рис. 12.15. Динамика изменения проницаемости селективной мембраны УАМ-200 в зависимости от степени концентрирования при ультрафильтрации щелочной протенназы

из второго циркуляционного контура в третий $P_{к2} = P_{к1}/n_2$.
Количество пермеата, отводимого из мембранных аппаратов второго циркуляционного контура,

$$P_{п2} = P_{к1} - P_{к2},$$

третьего циркуляционного контура

$$P_{п3} = P_{п1} - P_{п2} - P_{п3}.$$

Проницаемость селективной мембраны по мере концентрирования исходного раствора существенно изменяется, что вызвано изменением физико-химических свойств среды — повышением вязкости, концентрации сухих растворенных веществ, поверхностного натяжения, плотности и др. (рис. 12.15).

Поэтому для определения необходимых площадей мембранной поверхности циркуляционных контуров средние величины проницаемости в каждом контуре K_1 , K_2 и K_3 определяются графически при изменении степени концентрирования соответственно от n_0 до n_1 , от n_1 до n_2 и от n_2 до n_3 .

Площадь мембранной поверхности (m^2) каждого циркуляционного контура

$$F_i = P_{пi}/K_i.$$

Гидравлический расчет мембранного аппарата. Гидравлический расчет заключается в определении гидравлического сопротивления мембранного аппарата и требуемого напора циркуляционного насоса. Для этого необходимо знать следующие параметры: высоту межмембранного канала h , ширину канала b , длину межмембранного канала l , количество межмембранных каналов n , скорость потока раствора в межмембранных каналах v , динамическую вязкость ферментного раствора μ , плотность ферментного раствора ρ .

Коэффициент трения для щелевых каналов прямоугольного сечения со сторонами h и b

$$f_{тр} = K_{геом}/Re,$$

где $K_{геом}$ — коэффициент, зависящий от отношения геометрических размеров канала; Re — критерий Рейнольдса.

$$Re = v d_s \rho / \mu,$$

где d_s — эквивалентный диаметр сечения ($d_s = 2h$).

Для ламинарного режима течения раствора гидравлическое сопротивление аппарата

$$\Delta p = \rho \frac{v^2}{2} \left(1 + \frac{f_{тр} L_s}{d_s} + \sum \xi \right) + \rho g H,$$

где L_s — эквивалентная длина канала, м ($L_s = l$); $\sum \xi$ — местные сопротивления аппарата (принимается $\sum \xi = 0$); H — высота подъема раствора для рассчитываемого аппарата, м.

12.5. УСТАНОВКИ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ И СТЕРИЛИЗУЮЩЕГО ФИЛЬТРОВАНИЯ

Процессы освещения и стерилизующего фильтрования в значительной степени определяют работоспособность ультрафильтрационных установок, долговечность ацетатцеллюлозных мембран, а также качество бактериальной очистки растворов. Подготовка нативного раствора к ультрафильтрации производится на специальных фильтрах.

Фильтры многорамные осветляющие и стерилизующие. Для освещения и стерилизации биологически активных растворов перед их концентрированием методом ультрафильтрации применяются многорамные фильтры (рис. 12.16), представляющие собой

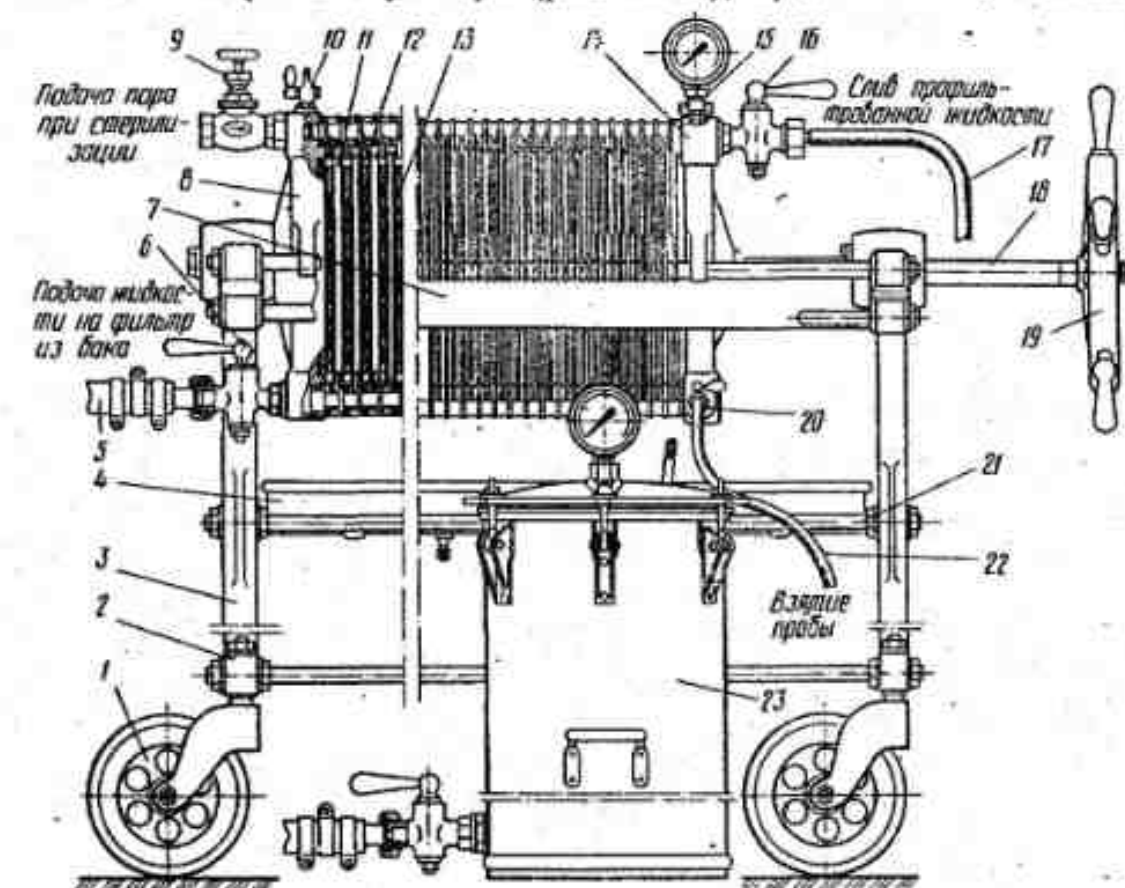


Рис. 12.16. Многорамный фильтр для осветления растворов РФ-79:

1 — колесо; 2 — станина; 3 — стойка; 4 — поддон; 5 — шланг; 6, 10, 16, 20 — краны; 7 — переключатель; 8 — неподвижные крышки; 9 — вентилятор; 11 — двухсеточная рама; 12 — трехсеточная рама; 13 — стерилизующая пластина; 14 — подвижная крышка; 15 — манометр; 16 — резиновая трубка; 18 — зажимной винт; 19 — штурвал; 21 — стяжка; 22 — трубка; 23 — бак.

набор сеточных рам со стерилизующими или осветляющими пластинами. Фильтр расположен на станине, состоящей из стоек, соединенных стяжками и перекладинами. Между неподвижной и подвижной крышками устанавливаются рамы с пластинами между ними.

Многорамный фильтр делится пластинами на две секции — фильтрованной и нефилтрованной жидкостей. Нефилтрованная жидкость поступает под избыточным давлением в полость крышек двухсеточных (четных) рам, проходит через пластины, заполняет полости трехсеточных (нечетных) рам и поступает в приемный аппарат.

Асбестоцеллюлозные фильтрующие пластины марки Ф осветляют жидкость от взвесей и задерживают не менее 85 % микроорганизмов. Стерилизующие пластины марок СФ, СФ-1, СФ-2 отделяют при фильтрации 100 % микроорганизмов. Бактериальная нагрузка доходит до 10^{10} колоний на 1 см^2 поверхности фильтра при бактериальных загрязнениях. По внешнему виду фильтрующие и стерилизующие пластины представляют собой белые плоские эластичные диски, гофрированные с одной стороны. Обеспложивающие пластины состоят из смеси целлюлозы и асбеста. Волокна целлюлозы толщиной 30 мкм образуют грубую пространственную сетку, ячейки которой уплотнены асбестовым волокном. При толщине пластины 4—5 мм поток жидкости проходит длинный путь через лабиринт волокон.

Пластинальные фильтры механически улавливают частицы по всей глубине и абсорбируют их по всей поверхности волокон. Пластинальные фильтры можно стерилизовать паром температурой до 150°C . Они инертны ко всем растворителям, но чувствительны к сильным щелочам и концентрированным кислотам. Время работы пластины составляет 6 ч. Максимально допустимое давление при фильтрации и стерилизации растворов на фильтре 147 кПа. В зависимости от типа применяемых пластин установки можно использовать и для осветления и для стерилизации жидкости.

Пластины бывают круглыми (диаметр 140, 240, 300 и 500 мм) и прямоугольными (200×200 , 400×400 , реже 600×600 мм). Пропускная способность пластин диаметром 300 мм по воде при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$ и давлении 121 кПа составляет: СФ и СФ-1 — 310, СФ-2 — 360 и Ф — не менее 220 л/ч. Удельная производительность для ферментных растворов 100—150 л/(м²·ч).

Стерилизующие фильтры до применения стерилизуют паром при 120°C в течение 30—40 мин или химическими средствами (формальдегидом, этиловым спиртом, пероксидом водорода).

Для осветления и стерилизации изготавливаются промышленные фильтры РФ-39 и РФ-79, снабженные двух- и трехсеточными рамами. Первый фильтр имеет соответственно 39 и 40 рам, второй — 79 и 80. Фильтры рассчитаны на работу под давлением 29 кПа.

Для тонкой очистки и стерилизации биологически активных растворов изготавливается 5 марок ацетатных мембранных фильт-

ров — с дисками диаметром 35, 90, 142 и 293 мм и прямоугольной формы размером до 300×500 мм (табл. 12.8).

Таблица 12.8. Техническая характеристика мембранных фильтров для тонкой и стерилизующей фильтрации

Марка	Производительность по воде при $p = 45 \text{ кПа}$, мл/см ²	Средний диаметр пор, мкм	Область применения
МФА-0,12	0,6—1,4	$0,12 \pm 0,02$	Фильтрация высокомолекулярных белков
МФА-0,2	1,5—3,8	$0,2 \pm 0,05$	Вирусология
МФА-0,3	4,0—7,5	$0,3 \pm 0,05$	Стерилизующая фильтрация растворов
МФА-0,4	8,0—12,0	$0,4 \pm 0,05$	Стерилизующая фильтрация
МФА-0,55	13,0—26,0	$0,55 \pm 0,05$	Для микробиологических анализов

Продолжительность работы фильтрационных мембран 70 ч, а их удельная производительность 150—170 л/(м²·ч).

Осветляющий и стерилизующий фильтр Ждановского завода технологического оборудования медицинской промышленности. Данные фильтрационные установки предназначены для фильтрации инъекционных растворов, тонкого осветления и стерилизации биологически активных растворов. Установка состоит из двух блоков, в каждом из которых находится пакет из 9 фильтрующих асбестоцеллюлозных пластин диаметром 240 мм марки Ф и одного блока из 10 дисков со стерилизующими пластинами марки СФ. Раствор подается под давлением от 0,042 до 0,127 МПа сначала в первую ступень, состоящую из двух блоков, и затем — во вторую ступень. Производительность установки до 500 л/ч и зависит от физико-химических свойств растворов; габаритные размеры $1800 \times 520 \times 1300$ мм; масса 300 кг.

Фильтрующие и стерилизующие фильтры фирмы «Зейтц» (ФРГ). Фирма «Зейтц» изготавливает фильтры различных типов конструкций для осветления и стерилизации растворов с применением фильтрующих и стерилизующих асбестоцеллюлозных пластин. Пластины применяют для фильтрации растворов от тонкодисперсных до коллоидных. Кроме фильтровальных пластин К и К₀ фирма изготавливает стерилизующие тонкопористые пластины ЕК, ЕКС-1, ЕКС-2, с помощью которых растворы очищаются от микроорганизмов. Размер пластин 200×200 , 400×400 , 600×600 мм. Производительность фильтров зависит от размера и количества пластин, собранных в фильтре, и от физико-химических свойств раствора.

ния, осаждения, кристаллизации и др., производит в распылительных или в сублимационных сушилках. Высушенные препараты имеют влажность не более 5—12 %. Следует иметь в виду, что большинство ферментных препаратов термолабильны и способны инактивироваться при температурах свыше 35—40 °С. Поэтому обезвоживание ферментных растворов и суспензий осуществляют в низкотемпературных условиях сушки.

Кормовые антибиотики (препараты терравита, биовита, бацитилина, бацитрацина и др.) также чувствительны к температурам сушки. Их подвергают сушке в ленточных и распылительных сушилках до остаточной влажности 8—10 %. Хорошие результаты получены при сушке антибиотиков в сушилках с кипящим слоем. Максимальная температура продукта при этой сушке не должна превышать 60 °С. Повышение температуры сушки значительно снижает активность препаратов и увеличивает потери в них витаминов. Так, при сушке биовита на ленточной сушилке при 80 °С активность препарата снижается до 20 %, а содержание витамина В₁₂ — до 10 %.

Процесс сушки бактериальных удобрений и средств защиты растений (нитрагин, азотобактерин, фосфобактерин, боверин, инсектин, токсобактерин и др.) имеет ту особенность, что после сушки в препаратах должно сохраниться максимальное количество жизнеспособных высокоактивных микроорганизмов или их спор. Сушку этих препаратов осуществляют на распылительных сушилках; получены хорошие результаты сушки этих препаратов на сублимационных сушилках. На распылительных сушилках процесс протекает при температуре сушильного агента 130 °С, температуре высушиваемого продукта не более 50 °С.

13.3. БАРАБАНЫЕ СУШИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Барабанные сушилki, работающие при атмосферном давлении, применяют для сушки ферментных препаратов, органических кислот и других продуктов микробиологического синтеза.

По сравнению с сушильными установками других типов в сушилках барабанного типа потери ферментативной активности не превышают 10—15 % (в сушилках других типов потери составляют до 25 %).

Чаще всего сушка ведется подогретым воздухом при прямоточном или противоточном движении теплоносителя и продукта. Воздух, подаваемый в барабан для сушки, должен быть тщательно очищен. Обычно для очистки воздуха применяют двухступенчатую фильтрацию: через фильтры грубой и бактериальной очистки.

Сушилка (рис. 13.1, а) изготовлена в виде цилиндрического сварного корпуса 1, установленного на двух роликовых опорах 6 с углом наклона 0,5—6° в сторону выгрузки продукта. Внутри барабана расположены распределительное устройство 8, через которое продукт поступает на сушку, и подъемно-лопастная система, состоящая из наклонных насадок различной конфигурации

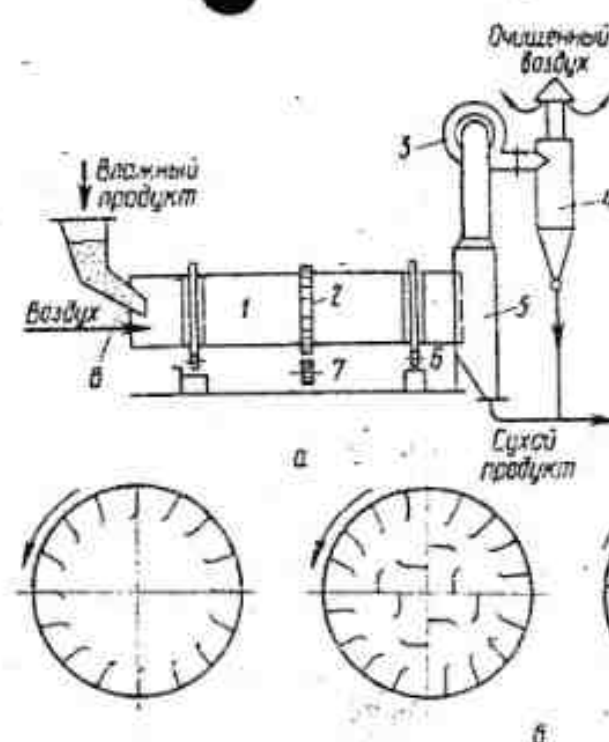


Рис. 13.1. Схема барабанной сушилки:

а — барабанная сушилка; б — конфигурация насадок

(рис. 13.1, б). Расположение насадок обеспечивает равномерное распределение культуры по всему сечению барабана и продвижение ее к разгрузочному устройству 5. Барабан вращается от привода 7 через редуктор и зубчатый венец 2, расположенный на корпусе. Частота вращения барабана 3—8 мин⁻¹. Температура воздуха на входе 90—95 °С, на выходе — 60—65 °С, температура культуры в процессе сушки 30—40 °С.

Скорость воздуха не более 2—3 м/с, поэтому унос продукта с воздухом невелик. Для более полного улавливания продукта отработавший воздух насосом 3 подается в циклон 4, а затем после нагревания вновь возвращается в сушилку с добавлением свежего воздуха.

Производительность сушилки по культуре гриба до 1,5 т/сут, диаметр барабана 1200 мм, длина 4200 мм.

Сушильная установка Тукумского ферментного завода (рис. 13.2) состоит из тихоходной дробилки 5, барабанных сушилок типа СЗП-5-2 первой ступени 3 и второй ступени 3', охлаждающего барабана 4, наклонного элеватора с быстроходной дробилкой 6 второй ступени, шнеков 7 для выгрузки сухого продукта, осадительных циклонов 1 и вентиляторов 2.

Производительность установки 100—150 кг/ч при начальной влажности продукта 35—48 %. Конечная влажность продукта 10—13 %.

Выращенная в кюветах культура гриба измельчается до частиц размером 10—30 мм в тихоходной дробилке 5 (тихоходная дробилка представляет собой двухвальный шнек с прерывистыми лопастями, который вращается с частотой 20 мин⁻¹) и затем поступает на первую ступень сушки 3, высушивается до влажности 25—30 %. Расход воздуха на этой ступени составляет 4500 м³/ч, температура воз-

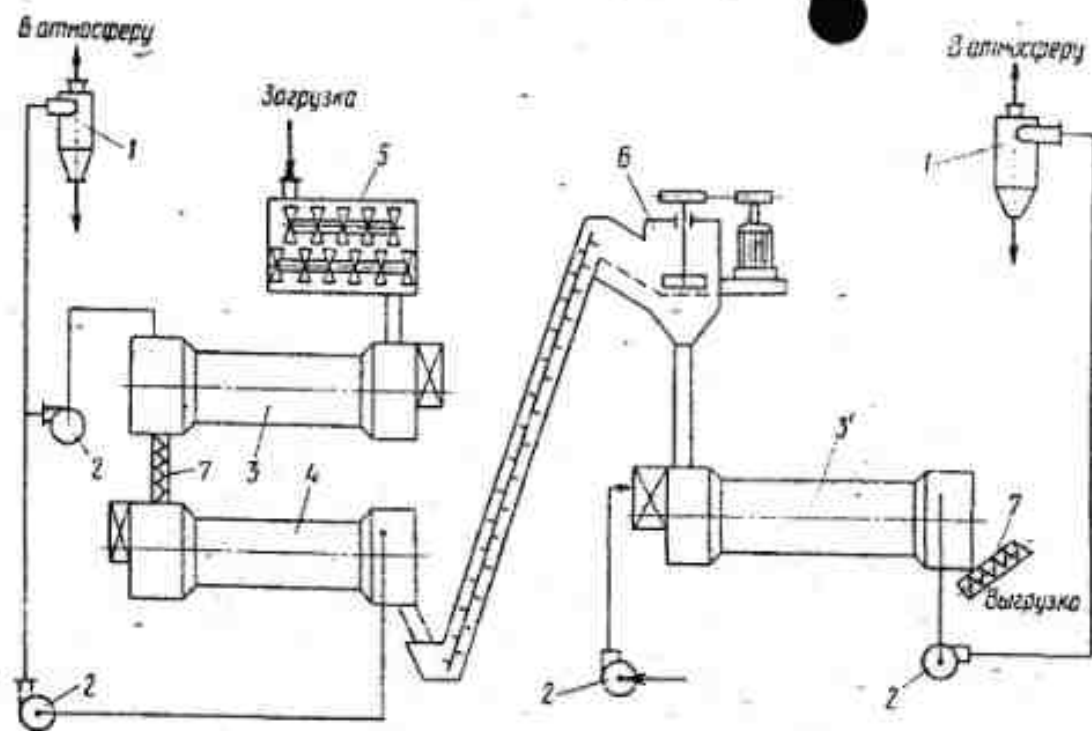


Рис. 13.2. Схема установки для сушки грибов Тукумского ферментного завода

духа на входе $60-80^{\circ}\text{C}$. Слегка подсушенная культура гриба подается шнеком в быстроходную дробилку 6, в корпусе которой расположен перфорированный ротор с укрепленными ножами, который вращается с частотой 1400 мин^{-1} . В быстроходной дробилке культура измельчается до величины частиц $0,5-5 \text{ мм}$, после чего поступает на вторую ступень сушки 3', где высушивается до конечной влажности $10-13\%$ при температуре воздуха на входе $50-60^{\circ}\text{C}$ и расходе воздуха $3500 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Температура продукта в сушилке не превышает 35°C .

Установочные размеры сушилки $12000 \times 18000 \times 4500 \text{ мм}$, суммарная мощность электродвигателей 34 кВт . Существенными недостатками барабанных сушилок являются низкий коэффициент заполнения сушилки ($0,2-0,25$), большие габариты, металлоемкость и малая производительность.

13.4. ВИХРЕВАЯ СУШИЛЬНАЯ УСТАНОВКА ТИПА СВИ

Высокопроизводительная вихревая сушильная установка нашла широкое применение в производстве ферментных препаратов. В вихревой сушильной установке совмещены процессы сушки и измельчения продукта.

Установка (рис. 13.3) состоит из вихревой сушилки 5 сложной конфигурации, фильтров грубой и тонкой очистки подаваемого воздуха 1 и 2, фильтра очистки удаляемого воздуха 9, калориферов 4 и 4', вентиляторов 3 и 10, винтового конвейера 11 для транспортирования пыли, поступающей из бункеров рукавных фильтров 8, циклонов 7 и поворотной головки 6.

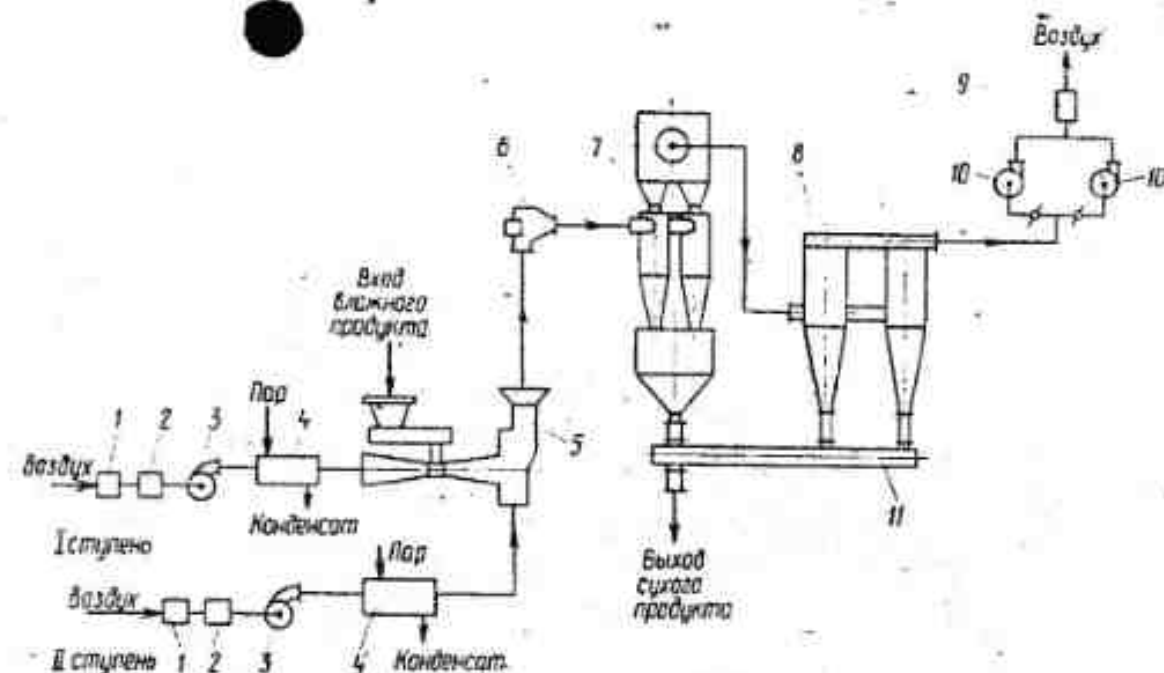


Рис. 13.3. Вихревая установка типа СВИ

Вихревая сушилка 5 состоит из дробилки, расположенной в вихревой камере диаметром 1500 и шириной 320 мм . При измельчении культуры гриба происходит одновременная сушка ее в две ступени, благодаря чему при сравнительно небольших габаритах сушилки испаряется 330 кг влаги в час при незначительных потерях ферментной активности.

Детали установки, соприкасающиеся с материалом, изготовлены из нержавеющей стали.

Винтовым питателем культура гриба подается в эжектор сушилки 5 и подхватывается потоком воздуха, поступающего из калорифера 4. Теплоноситель поступает по каналу в зону измельчения дробилки, подхватывает частицы продукта и переносит их во вторую часть сушилки. Таким образом, в первой зоне происходит первичная сушка культуры гриба с одновременным измельчением. По второму каналу в нижнюю часть вихревой камеры от калорифера 4' подается вторичный теплоноситель. Скорость воздуха, поступающего из калорифера 4', регулируется с помощью пяти поворотных лопастей, расположенных в нижней части сушильной камеры. Готовый высушенный продукт выходит из сушилки по вертикальной трубе через поворотную головку 6 и поступает в каскад циклонов 7.

Подаваемый для сушки культуры гриба воздух подвергается очистке на фильтрах грубой 1 и тонкой очистки 2 и подогреву в калорифере 4 до 140°C (в первом потоке) и в калорифере 4' до 100°C (во втором потоке).

Отработавший воздух, пройдя циклоны 7, поступает в систему рукавных фильтров 8 общей площадью поверхности 50 м^2 , расположенных в четырехсекционном корпусе. В каждой секции установлено 14 тканевых рукавов. Решетки в нижней части корпуса

фильтра служат для равномерного распределения воздуха по фильтрующим рукавам. Поочередно секции рукавов периодически встряхиваются особым механизмом, и пыль из бункеров фильтра поступает в шнековый конвейер 11, где соединяется с основным потоком сухого продукта.

Выгрузка продукта осуществляется через шлюзовой затвор. Отрабатанный воздух, пройдя воздушный фильтр 9, вентиляторами 10 выбрасывается в атмосферу.

Сушилка снабжена автоматическими средствами контроля и регулирования параметров процессов со звуковой и световой сигнализацией.

Техническая характеристика вихревой сушилки СВИ

Производительность, кг/ч по исходному продукту	660
» испаренной влаги	330
Влажность продукта, % начальная	До 60
конечная	10—12
Допустимая температура нагрева культуры гриба, °С	35
Диаметр вихревой камеры, мм	1500
Мощность электродвигателя, кВт	22
Калориферы	
тип	КФБ-6
площадь поверхности нагрева, м²	32,4
максимальный расход пара в зимних условиях, кг/ч	1090
давление пара, МПа	0,6
Вентиляторы	
тип	ВВД-9
количество	4
Суммарная мощность электродвигателей, кВт	117

13.5. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ СУШИЛКИ СО ВЗВЕШЕННЫМ СЛОЕМ ПРОДУКТА

Сушилки с псевдокипящим слоем разнообразных конструкций в последние годы находят все большее применение в микробиологических производствах для сушки кормовых дрожжей и антибиотиков, концентратов лизина, ферментных препаратов и других продуктов микробного синтеза. Принцип работы этих сушилок заключается в том, что продукт в виде порошка или кристаллов высушивается во взвешенном состоянии в потоке нагретого воздуха, движущегося с большой скоростью.

На рис. 13.4 показана одна из сушильных установок с псевдокипящим слоем. Мелкозернистый или кристаллический продукт из дозатора 7 через питатель 1 подается в вертикальную сушильную пневмотранспортную трубу 2 длиной 10—20 м, в которую снизу вентилятором 8 нагнетается предварительно очищенный воздух, нагретый в подогревателе 9 до заданной температуры. Продукт увлекается потоком воздуха по трубе вверх со скоростью до 40 м/с. Проходя по трубе, он высушивается и выбрасывается в сборник-амортизатор 3. Далее высушенный продукт, попадая в циклон 5,

Рис. 13.4. Сушилка с псевдокипящим слоем продукта

отделяется от воздуха и удаляется через разгрузитель 6. Отрабатанный воздух очищается на фильтре 4 и удаляется в атмосферу.

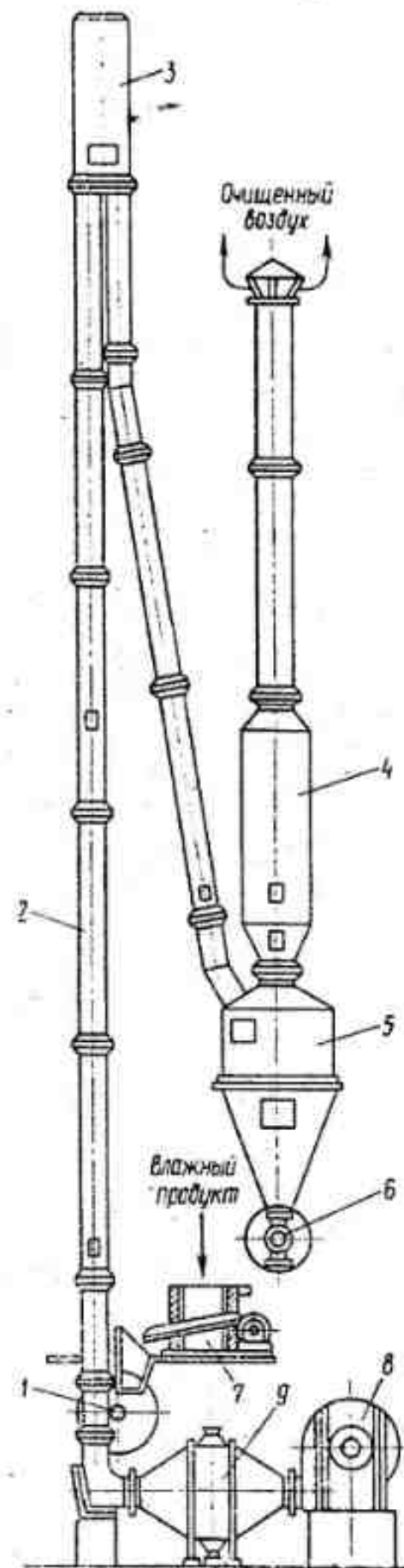
Процесс сушки продукта продолжается всего несколько секунд. Практические данные показывают, что 1 кг воздуха способен переместить по сушильной трубе от 8 до 20 кг высушиваемого продукта.

Достоинствами сушилок с псевдокипящим слоем являются возможность получения сильно развитой удельной поверхности соприкосновения продукта и сушильного воздуха, что обеспечивает высокую интенсивность сушки, кратковременное пребывание продукта в сушилке, а это в свою очередь позволяет использовать теплоноситель с высокой температурой; простота и компактность установки. К недостаткам установок относятся сложность регулирования процесса, наличие опасности взрыва при сушке горючих пылящих продуктов и сравнительно большой расход энергии.

Современные пневматические сушилки снабжены автоматическими фильтропродувными устройствами, что уменьшает опасность закупоривания фильтров и повышает работоспособность сушилок.

13.6. ПАРОВЫЕ КОНВЕЙЕРНЫЕ СУШИЛКИ ТИПА КСК

Сушилки данного типа применяются для сушки культур микроскопических грибов — продуцентов ферментов, кормовых антибиотиков и других продуктов микробного синтеза. Сушилка КСК обладает высокой производительностью и проста в обслуживании.



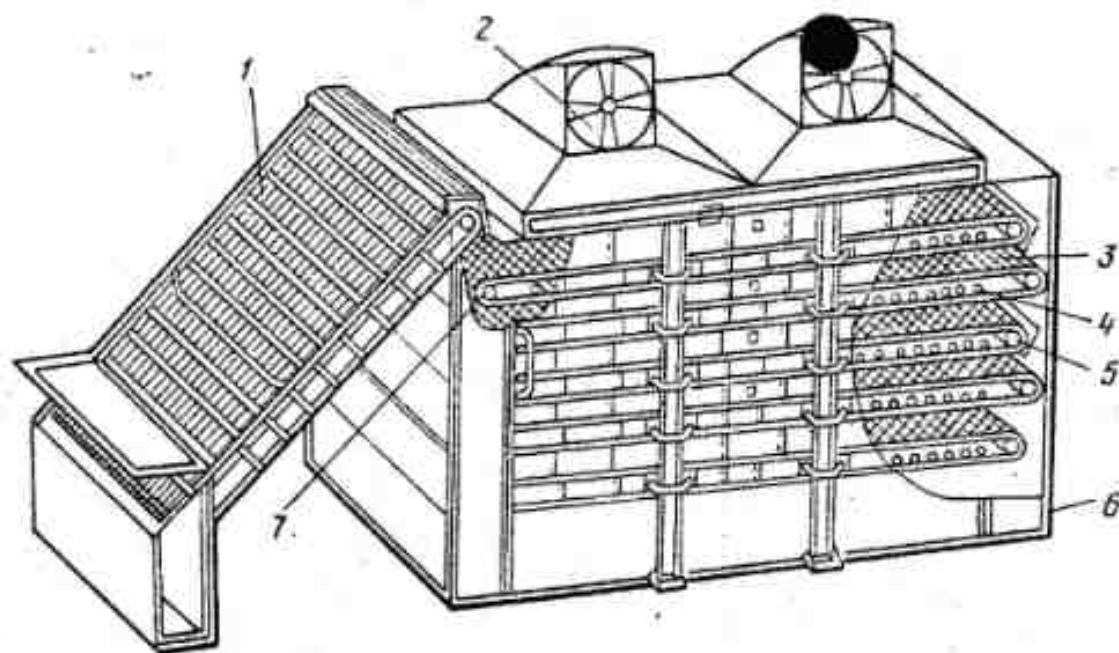


Рис. 13.5. Сушилка типа 4Г-КСК

Применять ее для сушки различных микробных препаратов можно лишь при условии полной герметизации и тонкой очистки удаляемого из нее воздуха.

Сушилка (рис. 13.5) представляет собой металлический шкаф 6, внутри которого расположены четыре-пять ветвей лент 3 сетчатого транспортера 1. Транспортерные ленты выполнены из проволоочной сетки из нержавеющей стали с ячейками $20 \times 1,5$ мм, и каждая из них натянута на приводной 7 и ведомый 5 металлические барабаны. Транспортерные ленты имеют различную ширину в зависимости от производительности сушилок. Каждая лента может иметь самостоятельный привод с вариатором скоростей, либо может быть установлен общий для всех ветвей привод, позволяющий изменять скорость лент от 1,14 до 1,0 м/мин. Воздух для сушки поступает под нижнюю ветвь конвейера сушилки и нагревается с помощью паровых калориферов 4, изготовленных в виде трубчатых секций и установленных между сетчатыми лентами каждой ветви. Воздух, проходящий сквозь все сетчатые конвейеры, и продукт, лежащий на них, насыщается влагой и выбрасывается в атмосферу после очистки вентиляторами 2.

Продукт перед сушкой предварительно гранулируется и с помощью транспортера 1 подается на верхнюю ветвь конвейера сушилки. Он перемещается вместе с лентой и в конце каждой ленты сыпается на нижнюю.

При высушивании культур микроскопических грибов температура воздуха в нижней зоне равна 40°C , средней — 52 и в верхней $65-70^\circ\text{C}$. Сушилку необходимо устанавливать в изолированном, хорошо вентилируемом помещении. Производительность по высушенному продукту равна 4 т/сут.

В сушилке КСК поверхность каждой ленты используется только наполовину, так как нижние ветви лент движутся без материала. Для устранения этого недостатка созданы многочисленные сушилки, в которых материал находится на верхней и нижней ветвях лент как при прямом, так и при обратном ходе.

13.7. МНОГОЛЕНТОЧНАЯ СУШИЛКА С ОПРОКИДЫВАЮЩИМИСЯ ПЛАСТИНАМИ

Многоленточная сушилка с опрокидывающимися пластинами (рис. 13.6) состоит из прямоугольной камеры 1, в которой движется несколько бесконечных цепных транспортеров 2, надетых на звездочки. Ленты транспортера выполнены в виде плоской проволоочной сетки, закрепленной в рамке и шарнирно соединенной с тяговой цепью. Пластины, составляющие ленту, снабжены выступами и скользят по направляющим. Воздух, нагнетаемый вентилятором, нагревается в калориферах 6, по каналам подается снизу в сушильную установку и после контакта с материалом на всех лентах удаляется по каналам 4 для отработавшего воздуха.

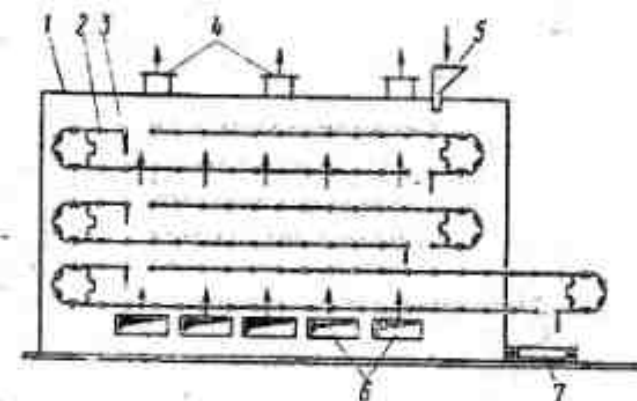


Рис. 13.6. Многоленточная сушилка

Подлежащий сушке продукт поступает через питатель в штуцер для загрузки 5 на верхнюю ветвь и перемещается вместе с пластинами верхней ветви.

Подходя к звездочке, опрокидывающиеся пластины верхней ветви 3 поворачиваются вокруг оси на угол 90° , и материал пересыпается на внутреннюю полость нижних пластин, уже обогнувших звездочку транспортера и перемещающихся в обратном направлении. Подходя к следующей звездочке, пластины ленты также переворачиваются, и материал пересыпается ниже.

Таким образом, материал, передвигаясь в камеру сверху вниз, полностью высушивается, после чего сыпается на разгрузочный транспортер 7.

13.8. КОНВЕЙЕРНАЯ СУШИЛКА ТИПА А1-ВУС-3

Для сушки культур микроскопических грибов ВНИЭКИпродмаш разработал конвейерную сушилку (рис. 13.7), состоящую из дробилки-гранулятора 5, транспортера-питателя 1, конвейерной ленточной сушилки 2 и системы подготовки воздуха, включающей фильтры 4 и 6, вентиляторы, калориферы 3, узлы воздухоподачи и распределения, вибратор 7.

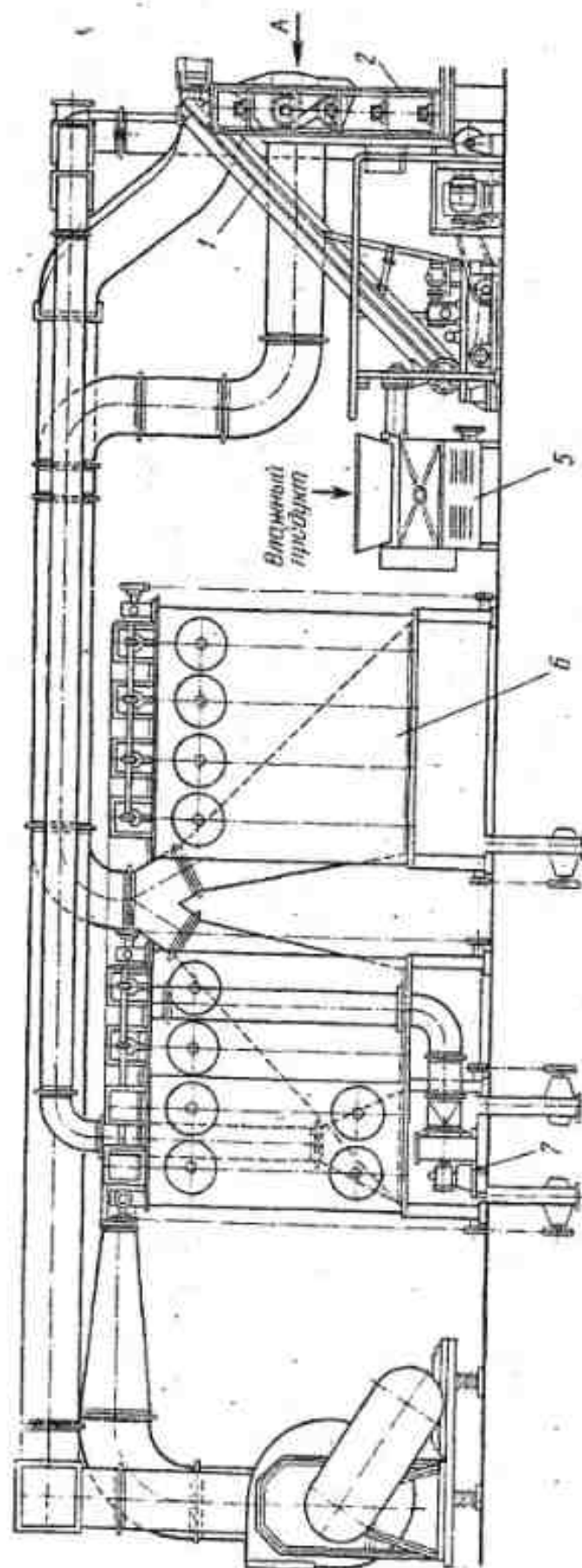


Рис. 13.7. Сушильная установка типа А1-ВУС-3

Сушилка ⁸ представляет собой металлический шкаф, внутри которого расположено пять ярусов бесконечных сетчатых лент, натянутых на барабаны. Каждый конвейер состоит из лент, натянутых на два барабана, один из которых является ведущим. Барабаны приводятся в движение от общего электродвигателя через редуктор.

Процесс сушки продукта происходит в трех зонах. В каждой зоне подводимый воздух имеет свою температуру. Верхний ярус является первой, следующие три яруса — второй и последний ярус — третьей зоной.

Выращенная культура гриба влажностью до 55 % подается в дробилку-гранулятор 5, где измельчается с помощью шнека и цилиндрических неподвижных штырей, закрепленных в стенках корпуса. Перемещаясь в фильере, встроенной в торцевой части гранулятора, она выпрессовывается через отверстия диаметром 4 мм, разрезается ножом на кусочки цилиндрической формы длиной 4 мм и подается равномерным слоем через вибрирующий транспортер-питатель 1 на верхнюю ветвь сушилки 2.

Воздух, подаваемый под сетку первой зоны, имеет температуру 65 °С, и во время перемещения по первой ленте культура подсушивается до влажности 35 %. При перемещении по лентам второй зоны, куда подается воздух температурой 45 °С, культура досушивается до влажности 10—12 %. В третьей зоне она охлаждается воздухом температурой 16 °С до 25 °С и удаляется. Воздух, подаваемый в сушилку и удаляемый из нее, фильтруется через масляный и металлические фильтры. Сушилка снабжена приборами контроля температуры воздуха и культуры, системой автоматического регулирования и записи температуры в процессе сушки.

Техническая характеристика конвейерной сушилки марки А1-ВУС-3

Производительность по сухой культуре гриба влажностью 10 %, т/сут	3,5
Число сетчатых конвейеров	5
Площадь конвейеров, м ²	30
Ширина сетки конвейера, мм	1250
Регулируемая скорость движения конвейеров, м/мин	0,04—5,7
Диаметр барабанов конвейеров, мм	244
Продолжительность сушки и охлаждения, мин	40—60
Максимальная температура нагрева культуры в процессе сушки, °С	57
Мощность электродвигателей, кВт	29
Габаритные размеры, мм	
сушилки	5 560×2800×2790
установки	24 400×5000×3950
Масса, кг	11 600
Удельный расход на 1 т высушенной культуры воздуха, м ³	17 800
пара (давлением 392 кПа), кг	6000
электроэнергии, кВт·ч	200

13.9. ШАХТНАЯ СУШИЛКА ТИПА ВИС-42-Д

Установка (рис. 13.8) состоит из сушильной камеры 7, двух калориферов 4, трех вентиляторов 1 и 12 и трех циклонов 2. Камера имеет металлический каркас 11, обшитый листовым железом и покрытый слоем теплоизоляции. Внутри нее через каждые 120 мм по высоте расположены 20 горизонтальных подвижных полок 6. Каждая полка состоит из 16 отдельных пластин 8 размерами 120×60 мм, которые в заданные промежутки времени автоматически поворачиваются на угол 90° . При этом продукт сбрасывается на нижерасположенные полки, а перевернутые полки возвращаются

в исходное горизонтальное положение. Переворачивание полок происходит каждые 25—40 с.

Внутренними перегородками камера 7 разделена на три части, что позволяет рационально использовать распределение теплоагента по зонам сушки. В первой зоне, в верхней части камеры, расположены 6 полок, во второй зоне, в средней части, — 8 полок и в третьей, нижней части, — 6 полок. В передней боковой части камеры расположены двери 9, к которым имеется свободный доступ. К задней боковой части подведены воздуховоды от двух вентиляторов 12 и калориферов 4 и выход отработавшего теплоагента к третьему вытяжному вентилятору 1 и циклонам 2.

Кинематическая схема поворота пластин полок рассчитана таким образом, что общая продолжительность сушки составляла 5—10 мин. Измельченный влажный продукт непрерывно поступает через приемный бункер в загрузочный аппарат и автоматически равномерным слоем распределяется на верхней полке камеры сушки.

Воздух, засасываемый центробежным вентилятором 12, через фильтры грубой очистки 14 и тонкой очистки 13 нагнетается в камеру сушки через калорифер 4, в котором нагревается до $85-90^\circ\text{C}$. Высушенный продукт с последней полки разгружается в бункер 10. Проходя в одном направлении с высушиваемым материалом над полками 6, воздух по переходному каналу направляется между полками, где движется уже в обратном направлении и затем удаляется. Температура воздуха после калорифера в зонах контролируется термометрами 3. Для измерения влажности входящего в камеру воздуха установлены психрометры 5.

Нижний вентилятор 12 подает в нижнюю зону сушки воздух температурой $60-70^\circ\text{C}$, где происходит досушивание продукта до содержания влаги 10—12 %.

Отработавший воздух отсасывается вытяжным вентилятором 1 через циклоны 2 и удаляется в атмосферу, а частицы высушиваемого материала отделяются и по мере накопления периодически выгружаются. Перед удалением воздуха в атмосферу его очищают в фильтрах грубой очистки 14 и тонкой очистки 13.

13.10. ВАЛЬЦОВЫЕ СУШИЛКИ

Контактные вальцовые сушилки применяются для сушки жидких или пастообразных материалов (паст водорослей, дрожжей, антибиотиков, витаминов и др.) при атмосферном давлении или под вакуумом.

Большое значение при сушке в вальцовых сушилках имеет герметичность сушильной камеры, что предотвращает загрязнение высушиваемого продукта.

Применение вальцовых сушилок в микробиологической промышленности целесообразно на предприятиях малой мощности. Недостатком этих сушилок является высокая температура вальцов ($140-150^\circ\text{C}$) в конце процесса сушки, что приводит к частичной

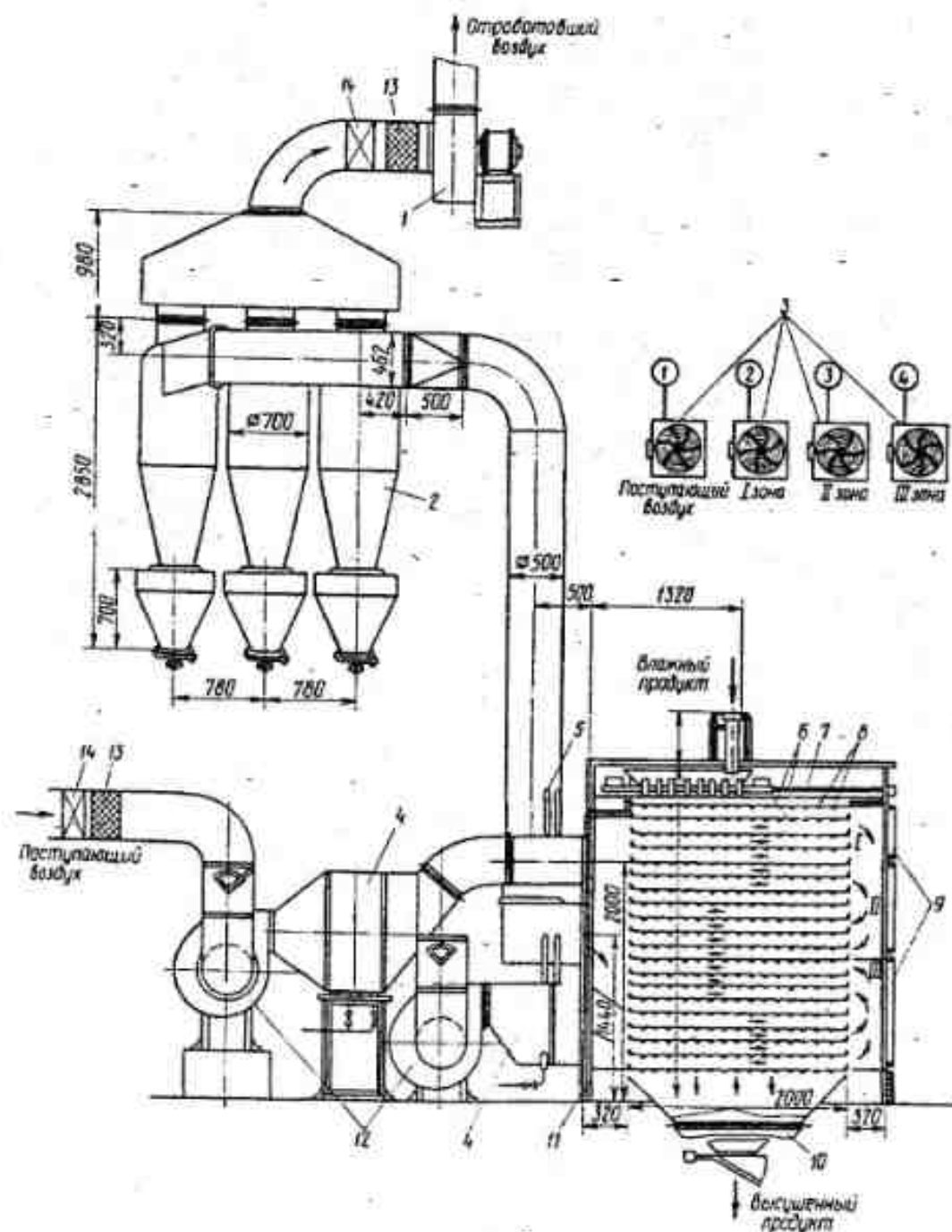


Рис. 13.8. Шахтная сушилка типа ВИС-42Д

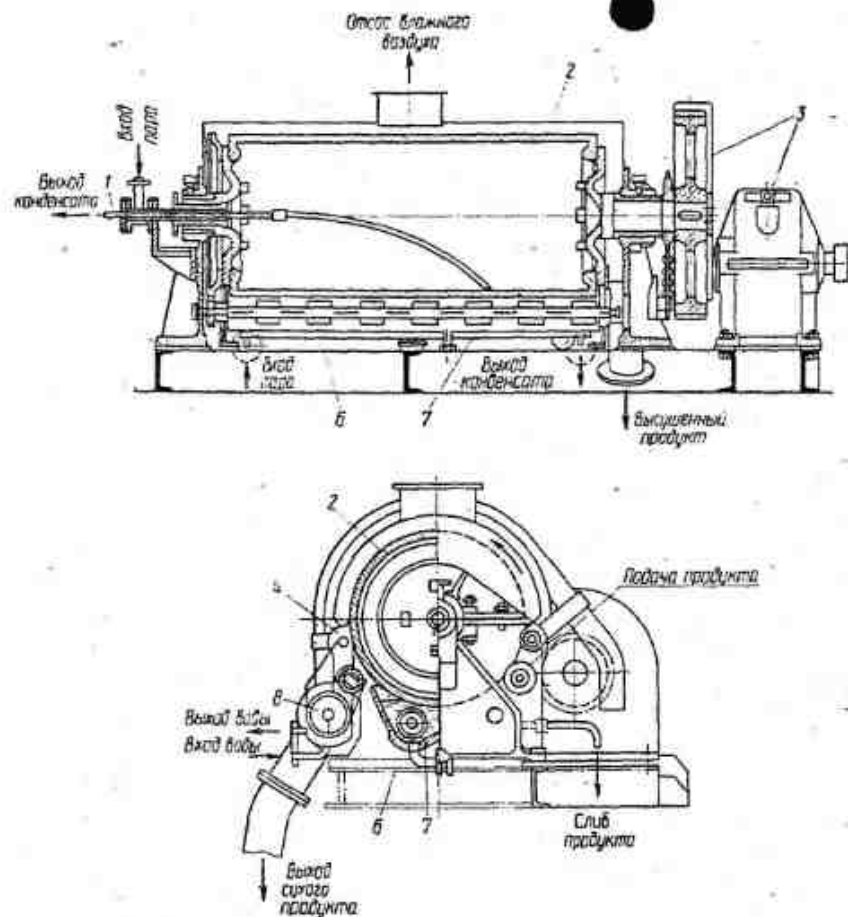


Рис. 13.9. Сушилка одновальцовая атмосферная

инактивации белка и аминокислот в товарном продукте (до 15%). Одновальцовые атмосферные сушильные аппараты непрерывного действия (рис. 13.9) имеют вращающийся барабан 2 с приводом 3, внутрь которого подается пар. Барабан частично погружен в корыто 7, куда через штуцер 5 поступает раствор. В корыте раствор перемешивается мешалкой 6 и наносится на барабан слоем толщиной 0,1—1 мм. В течение одного оборота барабана слой продукта успевает высохнуть и снимается с его поверхности ножами 4. Высушенный продукт шнеком 8 удаляется из сушилки. Пар давлением до 0,5 МПа поступает через полую цапфу барабана, конденсат отводится через ту же цапфу по сифонной трубе 1. В некоторых конструкциях вальцовых сушилок продукт наносится на барабан при помощи валиков, распыляющих раствор или намазывающих слой пасты на барабан.

Число оборотов вальца регламентируется режимом четырехскоростного электродвигателя. Изготавливают два типоразмера одновальцовых атмосферных сушилок с диаметром барабана 600, 800, 1000, 2000 мм. В этих сушилках запрещается сушка взрывоопасного материала и материала, выделяющего вредные и отравляющие пары.

Производительность сушилки по испаряемой влаге в зависимости от вида высушиваемого продукта составляет 10—50 кг/(м²·ч).

Сушилка двухвальцовая атмосферная (рис. 13.10) состоит из двух барабанов — вальцов 2 с тщательно отшлифованной поверхностью, вращающихся навстречу друг другу с частотой 2—10 мин⁻¹ в закрытом кожухе 1. Один из них установлен в подвижных подшипниках, что позволяет регулировать зазор между вальцами в пределах до 1—2 мм. Над вальцами расположены зонт 5, из-под которого вентилятором удаляется пар, образующийся в процессе сушки, и распылительное устройство. Процессы сушки и сема высушенного продукта осуществляются так же, как в одновальцовой сушилке. Привод вальцов 10 состоит из электродвигателя, редуктора и зубчатых передач. Продукт, снятый с вальцов, часто требует досушивания, которое производится в шнековых досушителях 6 и 7, имеющих рубашки и мешалки. Вращение шнеков осуществляется от привода 9. Досушенный продукт выводится через штуцер 8. Конденсат из барабана выводится через сифонную трубку 3, а из подогревателя — через цапфу пустотелого вала шнека и сифонную трубку, расположенную с торца вала. Для снятия готового продукта с поверхности вальцов установлены ножи 4.

Для нормальной работы сушилки необходимо, чтобы рабочие поверхности вальцов были гладкими, собранные рабочие вальцы свободно вращались, подвижные подшипники легко перемещались с помощью специальных винтов, ножи, снимающие продукт, плотно и равномерно прилегли по всей длине образующей вальца и не было щели между вальцами и ножом.

Количество влаги, испаряемой с 1 м² площади поверхности нагрева в единицу времени, меньше, чем у одновальцовых.

Двухвальцовые сушилки изготавливаются с диаметром барабанов 600, 800, 1000 мм и длиной вальца 1500, 2500 и 3200 мм.

Вакуумные одновальцовые и двухвальцовые сушилки имеют герметичный кожух и снабжены вспомогательным оборудованием для создания и поддержания в аппарате вакуума (сепараторы, конденсаторы, вакуум-насосы). Для обогрева вальцов кроме пара используют горячую воду или высококипящие органические теплоносители.

Достоинствами вальцовых сушилок являются непрерывная сушка при довольно высоком поверхностном испарении (до 70 кг/(м²·ч)), экономичность сушки вследствие малых потерь тепла с отработавшим воздухом; недостатками — сравнительно высокая влажность высушенного продукта, возможность перегрева продукта при сушке.

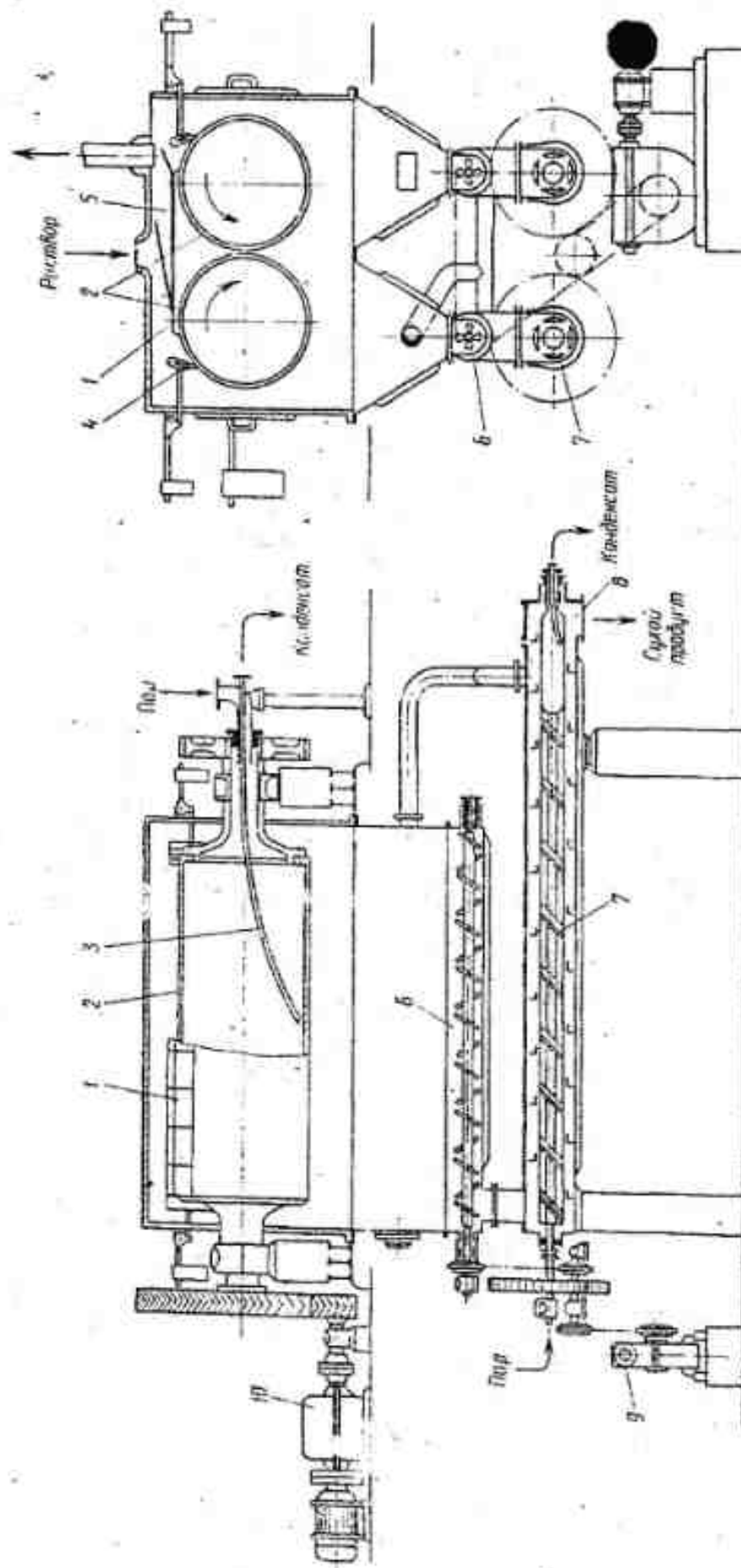


Рис. 13.10. Сушилка двухвальцовая атмосферная

Таблица 13.1. Технические характеристики вальцовых сушилок

Показатели	СОА-600-1400П	СДА-800/2000П
Размеры вальца, мм		
диаметр	600	800
длина	1400	2000
Рабочая поверхность вальца, м ²	2,6	4,8
Частота вращения вальца, мин ⁻¹	3,1—9,5	1,3; 4,2; 6,4; 8,5
Мощность электродвигателя привода, кВт	1,6; 3,2; 5,0	7,9; 12,5; 13,5; 17,5
Мощность электродвигателя дробилки, кВт	1,7	1,7
Давление пара в вальцах, МПа	4,4	4,4
Расход пара на 1 кг испаренной влаги, кг	1,5—3	2
Габаритные размеры, мм	3380×1725×1090	5015×2490×1950
Масса, кг	2178	7332

Условные обозначения сушилок: О — сушилка одновальцовая, Д — двухвальцовая, А — атмосферная, первое число — диаметр вальца (мм), число после дробя — длина вальца (мм), П — погруженный валец.

13.11. ГРЕБКОВЫЕ ВАКУУМНЫЕ СУШИЛКИ ТИПА СВЦР

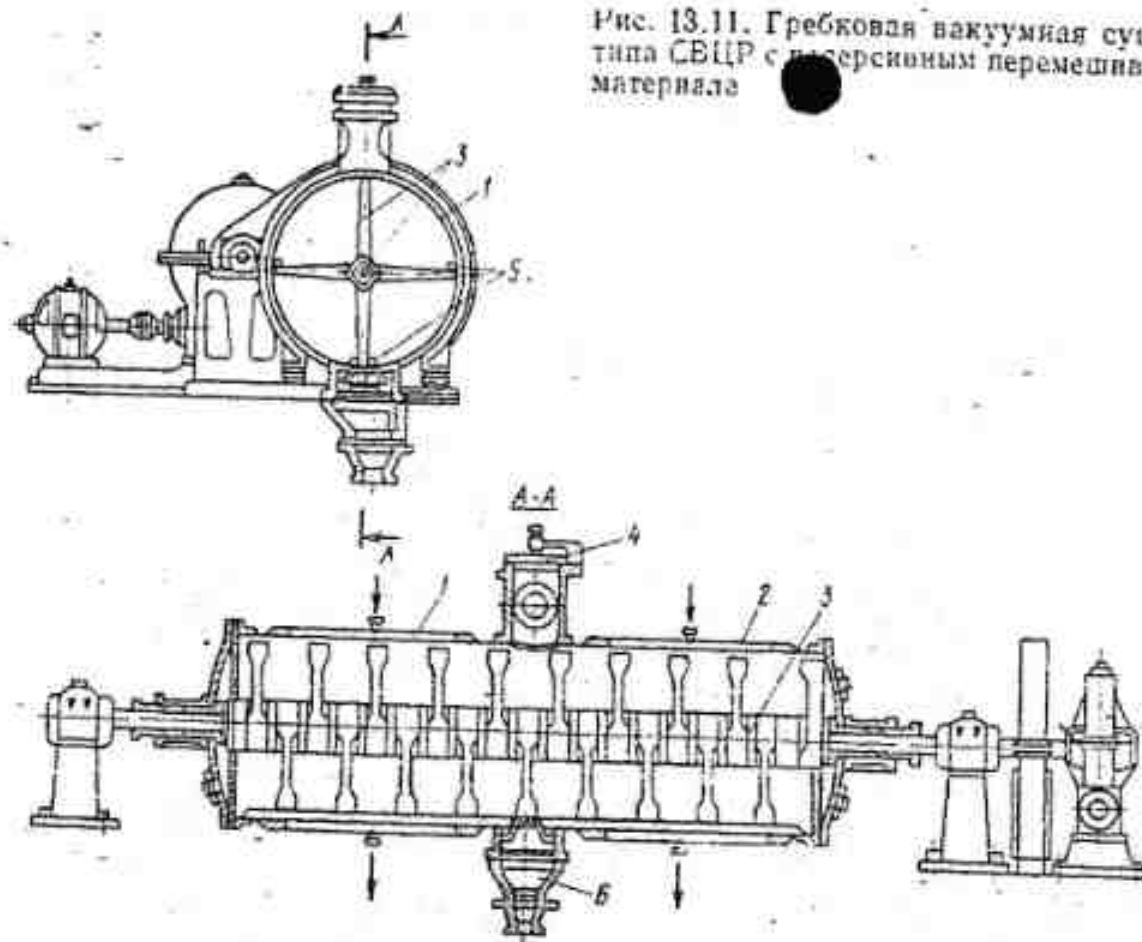
Гребковая вакуумная сушилка (рис. 13.11) состоит из горизонтального барабана 1, снабженного рубашкой 2 и мешалкой 3 в виде горизонтального полого вала с лопатками, имеющего реверсивное вращение. При помощи медленно вращающихся лопастей (до 8 мин⁻¹) продукт перемещается в обе стороны от центра, а затем обратно при изменении направления вращения вала с помощью специального устройства. Соседние лопасти мешалки закреплены перпендикулярно друг к другу, а между ними свободно расположены закрытые с концов трубки 5, которые перекачиваются при вращении барабана, способствуя лучшему перемешиванию продукта при сушке. Сушилка соединена с барометрическим конденсатором и вакуум-насосом. Теплоносителем может быть пар или горячая вода.

Загрузка влажного материала и выгрузка высушенного продукта осуществляются периодически через специальные герметически закрывающиеся люки 4 и 6, установленные на корпусе аппарата. Зазор между стенками корпуса и лопастями вала незначительный, вследствие чего продукт все время снимается со стенок. Загрузка установки полупродуктом составляет 25 % ее объема.

Остаточное давление в корпусе равно 392 Па, давление греющего пара — 98—490 Па, частота вращения мешалки — 1—10 мин⁻¹. Количество удаляемой влаги составляет 3—5 кг/(м²·ч) в зависимости от свойств высушиваемого полупродукта.

К достоинствам гребковых сушилок относятся перемешивание продукта, простота обслуживания, получение высушенного про-

Рис. 13.11. Гребковая вакуумная сушилка типа СВЦР с дисперсионным перемешиванием материала



продукта в измельченном виде: к недостаткам — периодичность работы, большие габариты и сложная конструкция, значительные эксплуатационные расходы на смену лопастей, ремонт механизмов и т. п.

В СССР разработаны и изготавливаются гребковые сушилки периодического и непрерывного действия, в которых теплоагент движется в одном направлении с продуктом. Эти сушилки могут работать при атмосферном давлении.

Таблица 13.2. Техническая характеристика сушилок типа СВЦР

Показатель	СВЦР 800-2500	СВЦР 1000-3200	СВЦР 1250-4000
Внутренний диаметр корпуса, мм	800	1000	1250
Длина корпуса, мм	2500	3200	4000
Вместимость, л	1320	2500	5040
Мощность электродвигателя, кВт	5	8	12
Масса, кг	5000	7200	11300

13.12. СУБЛИМАЦИОННЫЕ СУШИЛКИ

Сублимационная сушка заключается в удалении влаги из продуктов путем их замораживания и последующего перехода льда, образовавшегося в продукте, в пар, минуя жидкую фазу, при нагревании продукта под вакуумом. При сублимационной сушке влага перемещается в продукте в виде пара, не захватывая с собой частицы экстрактивных веществ и микроорганизмов. Сублимационная сушка в микробиологических производствах применяется для высокотермолабильных микроорганизмов, дрожжей, витаминов, антибиотиков, ферментов и др.

Обычно процесс сублимационной сушки начинается с замораживания поверхности продукта при температуре минус 20—минус 30 °С. Скорость замораживания термолабильных материалов существенно влияет на сохранение жизнедеятельности микроорганизмов и активности биологических препаратов, так как при быстром охлаждении продукта образуется лед внутри клеток, происходит быстрое изменение состава внутри- и внеклеточных физиологических растворов, что приводит к разрушению и гибели клетки.

Все биологические материалы, подвергаемые сублимационной сушке, имеют различную влажность, поэтому они обладают и различными тройными эвтектическими точками, при которых возможно равновесие льда, жидкой фазы и пара. Следовательно, для различных микробиологических материалов скорость замораживания определяется экспериментально. Процесс сублимации происходит при значениях давления паров над поверхностью материала и температуры в точках, расположенных ниже тройной точки фазового равновесия растворителя (воды).

Обычно при сублимационной сушке микробиологических материалов остаточное давление равно 133,3—13,3 Па, и температура материала в начале сушки равна минус 20 — минус 30 °С. Когда влажность продукта уменьшится до минимальной, температура материала поднимается до плюс 30 — плюс 40 °С. Такие условия сушки обеспечивают минимальный процесс окисления продукта вследствие низкого содержания кислорода в газовой среде сушильной камеры. В промышленных сублимационных сушилках теплоту к продукту подводят либо теплопроводностью, либо с помощью инфракрасных лучей.

Сублимационные сушилки бывают периодического и непрерывного действия. На рис. 13.12 показана принципиальная схема сублимационной сушилки периодического действия. Эта установка состоит из цилиндрической закрытой сушильной камеры (сублиматора) 1 с расположенной в ней этажеркой полках 2, куда загружается высушиваемый материал. Сублиматор работает периодически сначала как охлаждающая камера поступившего на сушку материала, затем как сушильная. При режиме охлаждения внутрь полки 2 насосом 5 подают охлаждающий агент. Охлаждение теплоносителя производится в теплообменнике 3, снабженном змеевиком,

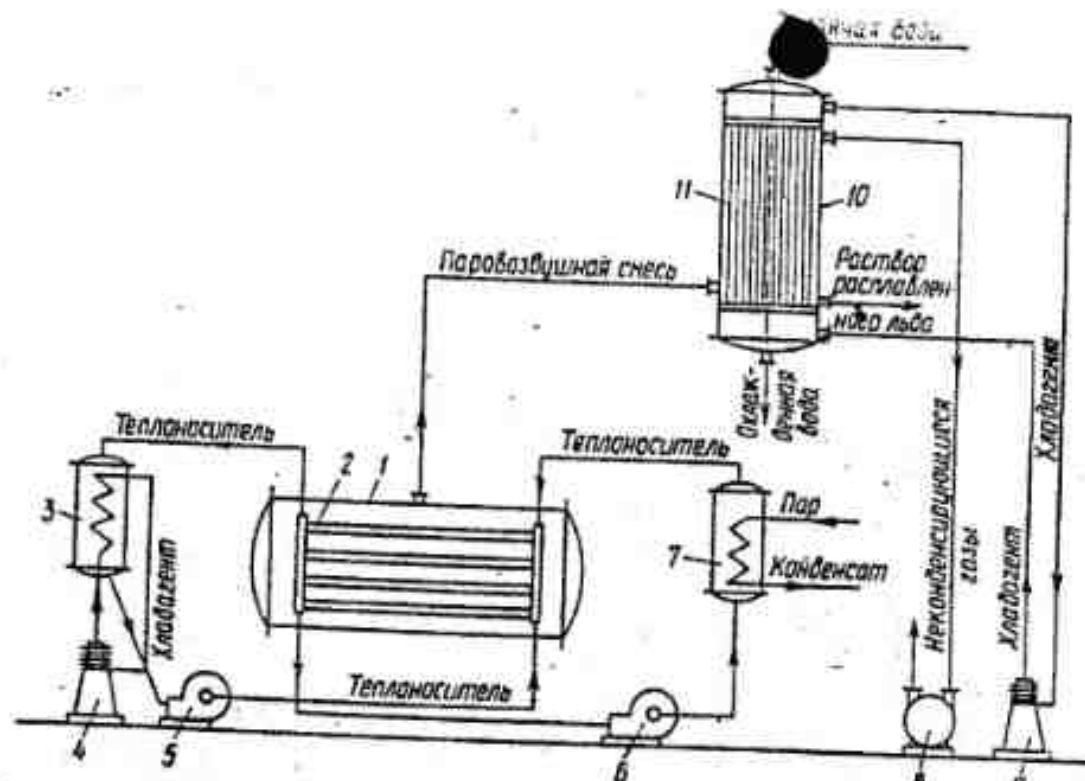


Рис. 13.12. Схема сублимационной сушильной установки периодического действия

по которому проходит холодагент, поступающий от холодильной установки 4. Когда сублиматор работает в режиме сушилки, теплоноситель, подогреваемый в теплообменнике 7, подается в полые полки насосом 6.

Конденсация паров, образуемых при сушке в сублиматоре, производится в конденсаторе-десублиматоре 10. Он представляет собой теплообменник, в межтрубное пространство которого поступает паровоздушная смесь из сублиматора. По трубам 11 десублиматора проходит холодагент (аммиак, фреон), подаваемый от холодильной установки 9. Обычно для охлаждения поверхностей сублимации и конденсации используют двух- или трехступенчатые компрессорные установки, способные обеспечить охлаждение поверхностей до температуры минус 60 — минус 40 °С.

Неконденсирующиеся газы удаляются из десублиматора вакуум-насосом 8. Сконденсированные пары осаждаются в виде слоя льда на поверхности охлаждаемых труб десублиматора. Так как в процессе работы десублиматора трубы 11 покрываются значительным слоем льда, то его периодически необходимо оттаивать, для чего в трубы 11 подают горячую воду из подогревателя 7.

В последнее время получили большое применение сублимационные сушилки непрерывного действия. Непрерывная сублимационная сушилка состоит из двух сублиматоров и двух десублиматоров, работающих попеременно.

При сублимационной сушке удельная теплота фазового превращения льда в пары при температуре минус 20 — минус 30 °С со-

ставляет около 3 МДж на 1 кг льда. Кроме этого теплота расходуется на нагрев деталей и узлов установки, массы сухого материала и на плавление льда в десублиматоре (около 0,4 МДж/кг).

Часовая производительность сублимационных сушилок непрерывного действия по испаренной влаге составляет более 200 кг. Время пребывания продукта в сушилках от 40 до 110 мин, максимальная температура продукта в конце сушки не более 27 °С.

13.13. РАСПЫЛИТЕЛЬНЫЕ СУШИЛКИ ДЛЯ ТЕРМОЛАБИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

Распылительная сушка в микробиологической промышленности используется для высушивания концентратов культуральной жидкости кормовых антибиотиков, аминокислот, ферментов, экстрактов культур грибов, полученных на твердых питательных средах методом объемной аэрации, растворов осадков, полученных при осаждении ферментов органическими растворителями или нейтральными солями, а также фильтратов культуральной жидкости. Концентрация сухих веществ в растворах, поступающих на сушку, должна быть не менее 10 %.

Применяемые на микробиологических предприятиях распылительные сушилки позволяют проводить процесс при довольно мягких режимах, исключающих высокие потери биологически активных веществ. В распылительных сушилках возможно также совмещение процессов сушки и микрокапсулирования.

Центробежное распыление продукта дает возможность равномерно распыливать жидкость и интенсифицировать процесс испарения влаги. Высушиваемый раствор проходит через диск распылительной головки, вращающейся с большой частотой, благодаря чему частицы жидкости превращаются в мельчайшие капли (туман) и увеличивается активная поверхность жидкости. Способ распыления более надежен по сравнению со способами сушки под давлением и пневматическим посредством сопел и имеет незначительную опасность засорения, низкую чувствительность системы к абразивному воздействию, возможность изменения скорости подачи, частоты вращения диска, а следовательно, и размера частиц без существенного изменения других параметров.

Камеры, предназначенные для сушки, изготавливаются из нержавеющей стали. Они могут быть с плоским днищем или коническим, причем первые имеют устройство для удаления высушенного продукта. В камерах с коническим днищем готовый продукт в виде порошка удаляется под действием силы тяжести.

Достоинствами распылительных сушилок являются быстрота процесса сушки, низкая температура материала при сушке, получение продукта в виде мелкого порошка, не требующего дальнейшего измельчения и обладающего хорошей растворимостью. Ввиду исключительно быстрой сушки температура материала в течение всего периода сушки не превышает температуры испаряющейся

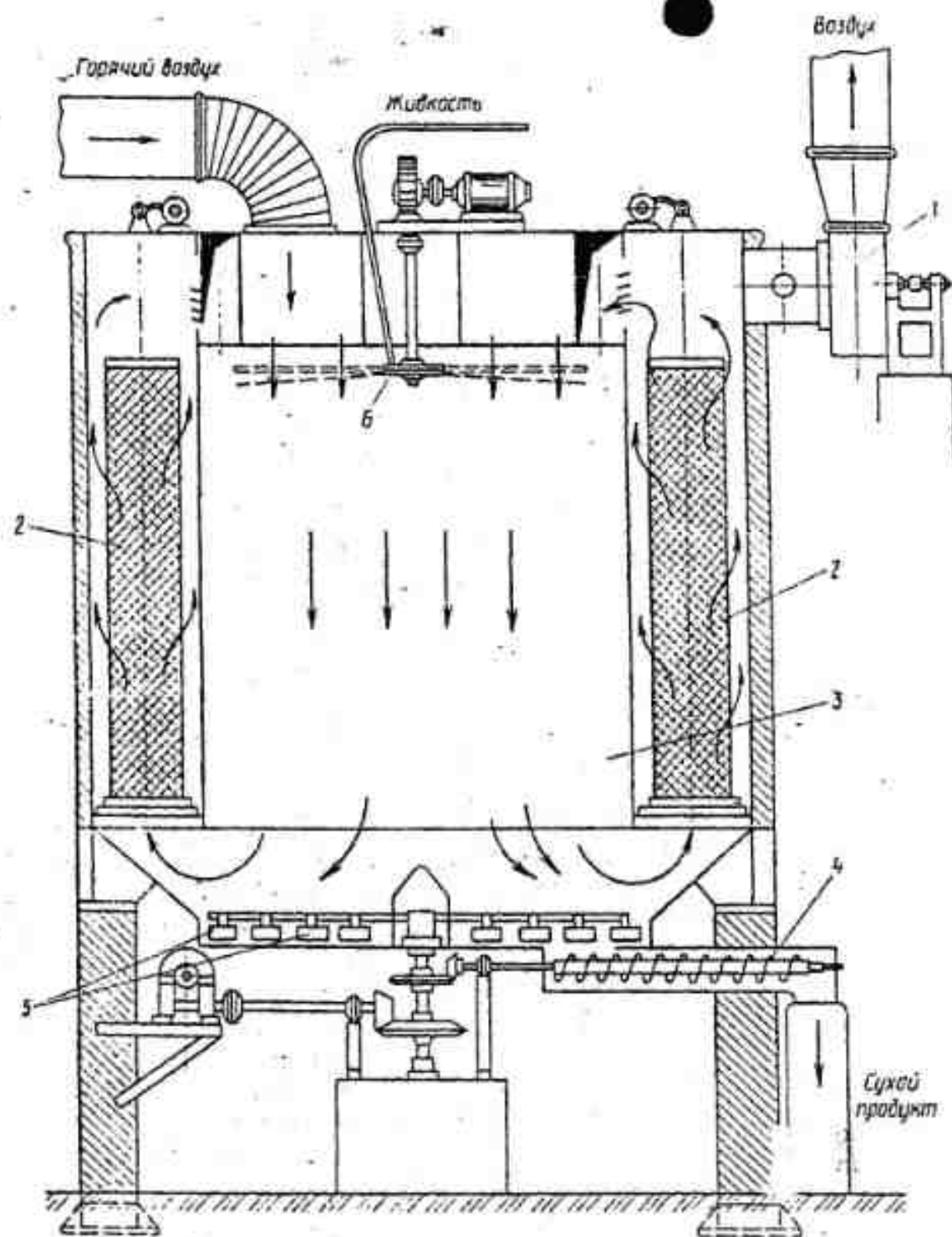


Рис. 13.13. Распылительная сушилка типа СРЦ-65/215ВП

влаги (60—70 °С) и остается значительно ниже температуры сушильного агента.

К недостаткам относятся сравнительно большие размеры сушильной камеры вследствие небольшой скорости движения сушильного агента и небольшого напряжения камеры по испаряемой влаге [до 2—25 кг/(м³·ч)], а также сложность механизмов распыления и системы пылеулавливания и разгрузки.

Распылительные сушилки с плоским дном. На рис. 13.13 показана распылительная сушилка типа СРЦ-ВП прямоточная непрерывного действия с плоским дном. Сушилка представляет собой сушильную камеру 3, в которой жидкий продукт распыляется с помощью быстровращающегося диска 6. Одновременно в камеру подают горячий воздух или дымовые газы, тщательно очищенные в батареях циклонов и скрубберах, которые движутся параллельным потоком с материалом.

Капли жидкости, попадая в поток горячего воздуха или газов, со всех сторон омываются теплоносителем, в течение одной или нескольких секунд теряют влагу и осаждаются в виде порошка на дне камеры. Высушенный продукт перемещается скребками 5 на дне камеры. Высушенный продукт перемещается скребками 5 и удаляется из сушилок при помощи шнека 4 или другого транспортного устройства. Сушильный агент непрерывно отсасывается вентилятором 1, предварительно проходя через матерчатый фильтр 2 для осаждения мелких частиц продуктов, унесенных с потоком газа. В подобных сушилках жидкость может диспергироваться распылительными дисками, механическими или пневматическими форсунками. Распылительные сушилки изготовляют диаметром от 7000 до 13 000 мм и производительностью по испаряемой влаге от 500 до 15 000 кг/ч.

В помещениях с ограниченной высотой устанавливают преимущественно сушилки с плоским дном, так как они более компактны и доступны для чистки и обслуживания. При необходимости получения стерильных продуктов предпочтительно использовать сушильные камеры с коническим дном, так как в них меньше отверстий, через которые может проникать загрязненный воздух.

Отечественные распылительные сушилки выпускаются двух типов (СРЦ — с распылением исходного материала центробежными дисками и СРФ — с распылением исходного материала пневматическими или механическими форсунками) и в трех исполнениях (НК — с нижним подводом теплоносителя и коническим дном сушильной камеры, ВК — с верхним подводом теплоносителя и коническим дном сушильной камеры и ВП — с верхним подводом теплоносителя и плоским дном камеры). В микробиологической промышленности в основном эксплуатируются сушилки с дисковым распылением растворов.

Распылительные сушилки с коническим дном. К таким сушилкам относится установка типа СРЦ-8/300 НК производительностью по испаряемой влаге 1500—3500 кг/ч. Сушилка (рис. 13.14) представляет собой цилиндрический корпус 9 с коническим дном для вывода сухого порошка. Раствор, подаваемый на сушку, распыляется центробежным устройством 13 с помощью диска 10. Сушильный агент подается в верхнюю часть установки по трубопроводу 7, на конце которого установлено распределительное конусное устройство 8. С помощью устройства происходит завихрение поступающего газа. Распыленные капли продукта подхватываются потоком воздуха и устремляются вниз. Влага испаряется, а оставшиеся мелкие высушенные частички порошка про-

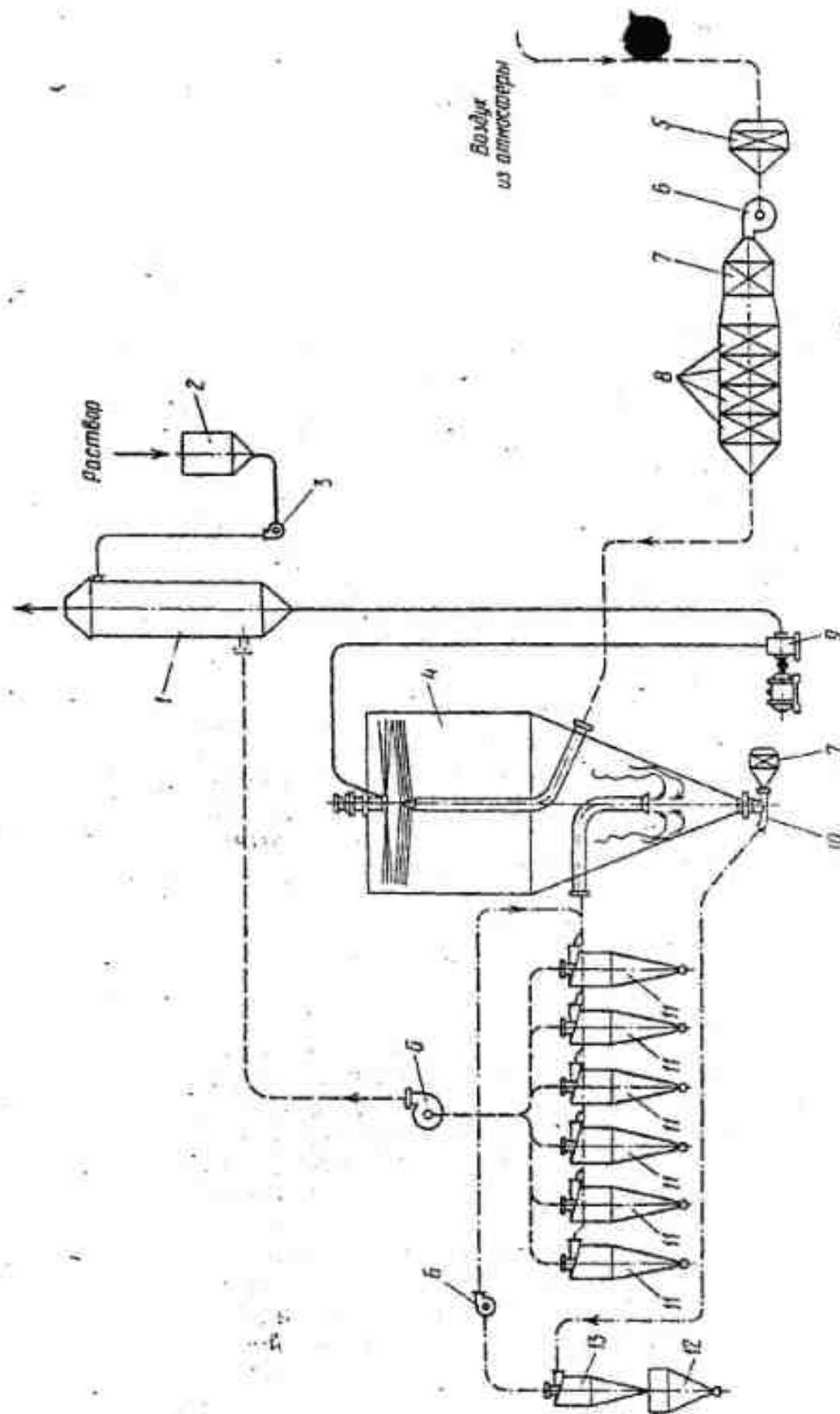


Рис. 13.15. Сушильная распылительная установка с сушилкой СРЦ-НК

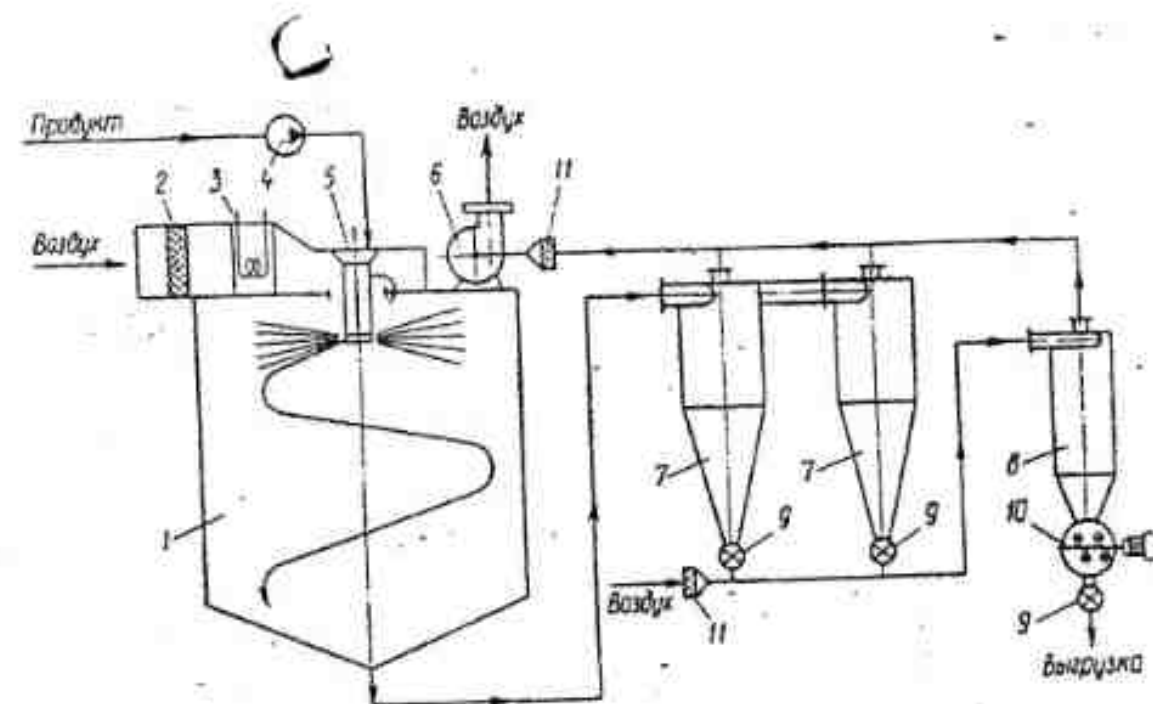


Рис. 13.16. Распылительная сушилка фирмы «Ангидро»

вующей остановку сушилки в случае превышения выше нормы содержания в газовой смеси паров растворителя (спиртов, ацетона).

Сушильная камера 1 диаметром 2,5 м и высотой 3 м с конической нижней частью (угол наклона 50°) изготовлена из нержавеющей листовой стали. С целью уменьшения зависания продукта на стенках по периметру камеры установлены 4 пневматических молотка. Центробежный распылитель приводится в движение от трехблочного электродвигателя со сменной частотой вращения от 18 000 до 25 000 мин⁻¹.

Раствор питающим насосом 4 высокого давления подается на центробежную распылительную головку 5. Количество подаваемого на сушку раствора регулируется пневматическим регулятором.

Нагрев воздуха осуществляется в электрокалорифере 3, состоящем из двух секций общей максимальной мощностью 60 кВт. Электрокалориферы и трубопроводы покрыты полосами шерсти толщиной 100 мм и алюминиевыми пластинами.

Корпус воздушного фильтра 2 изготовлен из нержавеющей стали, внутри него расположены фильтрующие элементы из волокнистого эластика.

Для выделения препарата из выходящего воздуха сушилка снабжена циклонами 7 и 8, которые изготовлены из полноразмерной нержавеющей стали с разгрузочными шаровыми затворами 9 для непрерывной выгрузки.

Вытяжной вентилятор 6 центробежного типа снабжен самоочищающимися лопастями, смонтированными на валу. После включения вытяжного вентилятора воздух нагревается в электрокалорифере 3 до температуры 65—70 °С, после чего срабатывает автоматический питающий насос 4. Температура воздуха на входе до 135 °С, а на выходе — 65—70 °С.

Для измерения концентрации паров органического растворителя в газовой смеси и подачи раствора на сушку применены два детектора с усилителями. При содержании в газовой смеси 3,6 об. % спирта или 1,3 % ацетона подача раствора на сушку автоматически выключается, а вытяжной вентилятор отсоса продолжает работать.

Из сушильной камеры продукт направляется в циклон 7, где непрерывно разгружается в воздухопровод и далее поступает в циклон 8, после которого воздух, отделенный от готового продукта, проходит через фильтр 11. Продукт охлаждается в пневмоохладителе 10 и через шиловый затвор 9 направляется в сборник готового продукта. Сопротивление воздушного фильтра не должно превышать 2,66 кПа, в противном случае происходит уменьшение подачи воздуха и снижение производительности агрегата.

По сравнению с сублимационными сушилками в распылительной сушилке за счет снижения потерь ферментов выход препаратов повышается. Так, например, при сушке препарата «Пектофетидин П10х» на сушилке с распыляющим диском диаметром 4 мм и частотой вращения 25 000 мин⁻¹ выход ферментов повышается на 12—15 % по сравнению с сублимационной сушкой. Управление процессом ведется с центрального пульта.

13.14. РАСЧЕТ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Применяемые в микробиологической промышленности сушильные установки состоят из трех основных участков: сушильного аппарата, калорифера и вентиляционного устройства (в сушилках с принудительной циркуляцией воздуха). Сушилка рассчитывается аналитически по количеству высушиваемого продукта и выбранным параметрам процесса.

Для выбора конструкции и состава оборудования сушильной установки необходимо знать ее производительность, вид сушильного агента, метод его нагрева и подвода к высушиваемому продукту, способ циркуляции сушильного агента (естественный или принудительный), способ загрузки и выгрузки обрабатываемого материала. Для расчета параметров процесса сушки необходимо знать начальную влажность суспензии, влажность высушенного продукта, начальную и максимально допустимую температуру продукта, теплоемкость сухого вещества продукта, размеры и массу продукта, в том числе объемную, а также параметры наружного и отработавшего воздуха, максимально допустимую температуру сушильного агента, скорость сушильного агента и продолжительность сушки продукта.

Расчет сушильной установки производится по следующей схеме:

1. Выбор типа сушильной установки.
 2. Расчет сушильной камеры: определение геометрических размеров камеры, исходя из производительности установки, принятой конструкции, материального и теплового балансов процесса; расчет расходов воздуха и теплоты на его подогрев; удельный расход теплоты на испарение 1 кг.
 3. Расчет нагревательной установки (например, калорифера): выбор конструкции калорифера (подогревателя) и теплоносителя, расчет средней разности температур, коэффициента теплопередачи, поверхности теплообмена калорифера, подбор калорифера.
 4. Расчет вентиляционной установки: выбор схемы подачи и отвода воздуха, расчет сопротивлений по трассе движения воздуха и в сушильной установке, выбор вентилятора и расчет мощности электродвигателя.
- Выбор типа установки для сушки продуктов микробиологического синтеза. Сушка суспензий микробных масс и растворов биологически актив-

Таблица 13.4. Показатели сушки кормовых дрожжей различными способами

Тип установки	Производительность по испаренной влаге, кг/ч	Удельный расход топлива на 1 т испаренной влаги, кг	Удельная производительность по испаренной влаге	Расход металла на сушилку, т
Вальцовая	1000	180	30*	20
Распылительная	1000	200	8**	35
В кипящем слое	1000	200	250—280**	3

Продолжение

Тип установки	Мощность электродвигателей, кВт	Удельный расход теплоты, кДж/кг	Температура теплоносителя на выходе, К
Вальцовая	20	5443—5862	343,15—353,15
Распылительная	47	4815 (топочные газы) 6029 (нагретый воздух)	573,15
В кипящем слое	40	5652 (нагретый воздух)	573,15

* Выражено в кг/(м²·ч).
** Выражено в кг/(м³·ч).

Таблица 13.5. Показатели сушки кормового концентрата лизина различными способами

Способ сушки	Удельная нагрузка (по влажному материалу), кг/м ²	Скорость теплоносителя, м/с	Удельная производительность по испаренной влаге, кг/(м ² ·ч)	Температура теплоносителя, °К	
				на входе	на выходе
Ленточный	25	1,2	15	340	310
В виброкипящем слое	40	3	50	388,15	363
В кипящем слое	40	5	65		
Распылительный	—	32	1—3 [4—9 кг/(м ² ·ч)]	389	373

ных веществ — сложный технологический процесс. Поэтому при выборе способа сушки этих веществ следует обращать внимание на качество продуктов, высушенных в различных типах сушильных аппаратов. Для выбора типа сушилки проводят анализ технико-экономических показателей процесса для каждого конкретного продукта. Приведем некоторые технико-экономические показатели различных способов сушки кормовых дрожжей и лизина (табл. 13.4 и 13.5).

При выборе типа установки и режима сушки продуктов микробиологического производства целесообразно рассматривать три группы показателей — технологические, теплотехнические и экономические. К технологическим показателям можно отнести схему и производительность установки, особенности конструкции сушильного аппарата, технологический режим, габаритные размеры установки, возможность механизации и автоматизации процесса загрузки сырья и выгрузки готовой продукции, очистки воздуха и другие показатели эксплуатации установок. Ко второй группе показате-

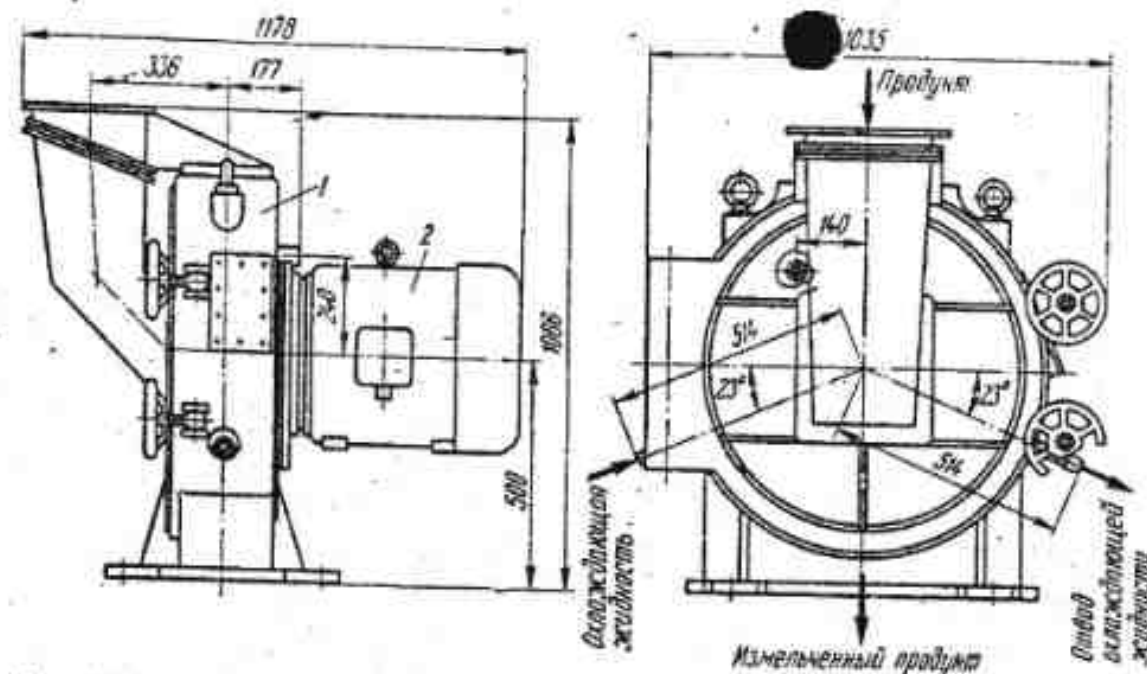


Рис. 14.1. Молотковая дробилка типа ДМ-630-К

для охлаждения. Внутренняя цилиндрическая поверхность размольной камеры 1 имеет зубчатые сектора. Внутри камеры на валу асинхронного электродвигателя 2 установлен ротор диаметром 630 мм с шарнирно закрепленными пластинчатыми молотками.

Исходный продукт с размером частиц до 50 мм через патрубок на крышке размольного аппарата непрерывно подается к центру ротора, где под действием центробежных сил проходит между молотками и, многократно ударяясь о них, дробится. Температура в камере дробления 15—20 °С, в рубашке охлаждения от — 10 до + 10 °С. Над выходным отверстием закреплена сменная сетка с размером ячеек 15, 20 и 40 мм, которая и определяет размер измельченной культуры. Степень измельчения колеблется от 10—15 до 30—40.

Производительность дробилки по культуре до 700 кг/ч, поверхность теплообмена 0,3 м²; мощность электродвигателя 13 кВт. Габаритные размеры 1178 × 1035 × 1066 мм, масса 800 кг.

Ударные мельницы. К ударным мельницам относятся дезинтеграторы, дисмембраторы и другие машины аналогичных конструкций.

Достоинствами ударных мельниц являются простота устройства, компактность, высокая производительность и степень измельчения, надежность в работе; недостатками — сильное пылеобразование и значительный расход энергии.

Дезинтегратор ДЗГ-630-401 (рис. 14.2) представляет собой ударно-дисковую мельницу, состоящую из двух роторов, вращающихся в противоположных направлениях с частотами 950 и 1440 мин⁻¹ от индивидуальных приводов 3. Ротор представляет собой два кольцевых диска, соединенных стальными цилиндрическими пальцами. Круглые пальцы диаметром 15 и длиной 55 мм расположены по концентрическим окружностям, причем пальцы

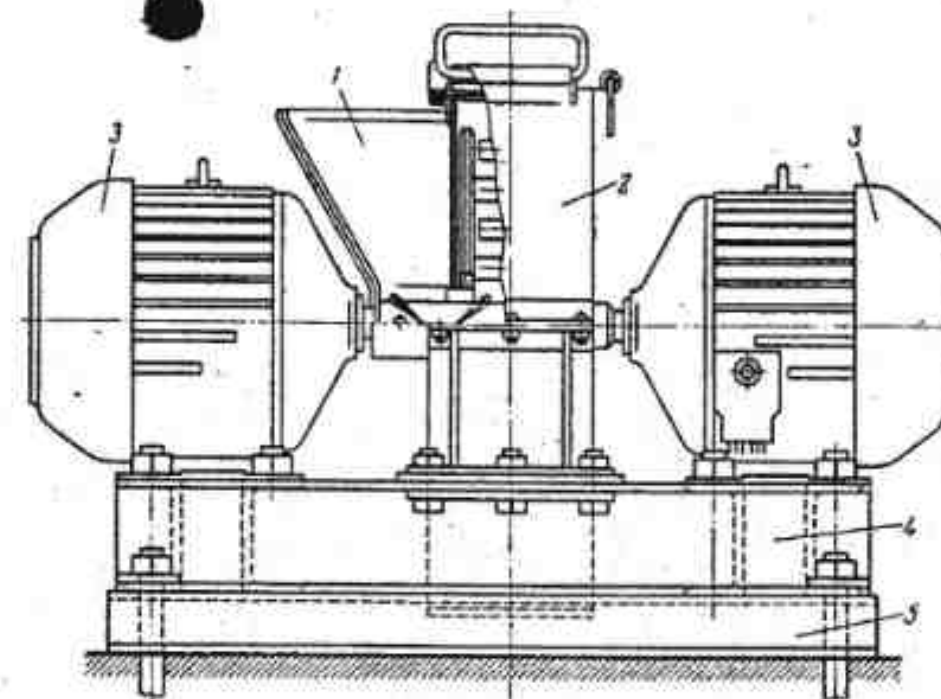


Рис. 14.2. Дезинтегратор типа ДЗГ-630-401:

1 — бункер; 2 — дробящее устройство; 3 — электродвигатель; 4 — верхняя рама; 5 — нижняя рама

одного ротора входят между двумя рядами пальцев другого ротора. Число ударных пальцев на каждом роторе увеличивается от центра к периферии.

Измельчаемый материал подается к дезинтегратору шнеком, предварительно измельчаясь. Через загрузочную воронку материал поступает вдоль оси роторов и центробежной силой отбрасывается к периферии, измельчаясь между вращающимися роторами. Производительность дезинтеграторов по культуре гриба влажностью 45—50 % составляет 120—140 кг/ч. Ввиду большой скорости вращения роторов необходимы их точная установка и балансировка. Следует также предусмотреть защитное приспособление от попадания в роторы посторонних твердых тел.

Таблица 14.1. Техническая характеристика дезинтеграторов

Показатели	ДЗГ-630-401	ДЗГ-630-4В1
Производительность, кг/ч	До 1500	До 1500
Размер частиц исходного продукта, мм	До 30	До 30
готового продукта, мкм	50—100	50—100
Влажность исходного продукта, %	Не более 5	Не более 5
Рабочая среда	Нейтральная не взрывоопасная	Нейтральная пожаровзрыво- опасная
Мощность электродвигателя, кВт	22	22
Габаритные размеры, мм	2060 × 1390 × 1375	2060 × 1430 × 1550
Масса, кг	1900	2090

Таблица 14.2. Техническая характеристика дисмембраторов

Показатели	ДМБ-250-401	ДМБ-630-401
Производительность, кг/ч	100—300	500—1500
Размер частиц исходного продукта, мм	1—30	1—30
готового продукта, мкм	50—150	50—150
Расход сжатого воздуха, м³/ч	7,5	6
Мощность электродвигателя, кВт	22	22
Габаритные размеры, мм	920×596×756	1575×1290×1344
Масса, кг	245	1498

На ударно-дисковой дробилке типа дезинтегратора можно получить до 96 % гранул размером от 1 до 3 мм.

Дезинтеграторы ДЗГ-630-401 и ДЗГ-630-4В1 предназначены для измельчения пожаро-, взрывоопасных продуктов в среде инертного газа.

Дисмембраторы предназначены для непрерывного тонкого измельчения высушенных препаратов до 100 мкм и представляют собой камеру, внутри которой размещено два диска. Один диск закреплен на валу, а другой установлен неподвижно. На дисках по концентрическим окружностям расположены круглые пальцы, аналогичные описанным выше.

Препарат, подлежащий измельчению, непрерывно движется от питателя через крышку мельницы к центру дисков и отбрасывается центробежной силой к периферии, измельчаясь при этом. Измельченный препарат, величина частиц которого меньше ячеек сита, установленного по периметру дисков, проходит через сито в закрытый приемник. Для улавливания уносимых воздухом частиц устанавливают матерчатые фильтры, а над дисмембратором — аспираторное устройство.

Шаровые мельницы. Измельчение высушенных биологически активных веществ в шаровых мельницах осуществляется с помощью металлических или керамических шаров, расположенных внутри барабана. При вращении барабана шары за счет силы трения о стенки поднимаются на некоторую высоту, а затем падают, измельчая материал. Степень измельчения в шаровых мельницах равна 50—100. Обычно барабан заполняется шарами наполовину. Диаметр шаров 25—150 мм, заполнение барабана шарами составляет 40—45 % объема. Продолжительность процесса зависит от прочности исходного продукта и заданной степени измельчения.

Выгрузка измельченного продукта производится через полую цапфу или диафрагму — поперечную решетку, расположенную у разгрузочного конца барабана. Для того чтобы процесс измельчения проходил нормально, должно выполняться следующее условие:

$$P_{ц} = M\Omega^2 R = M \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 R,$$

где $P_{ц}$ — центробежная сила, Н; M — масса шаров, кг; Ω — угловая скорость, рад/с; n — частота вращения барабана, с⁻¹; R — радиус вращения шаров, м.

Критическая частота вращения, при которой шары уже не будут отделяться от стенки барабана и падать вниз,

$$n_{кр} = \sqrt{900g/\pi^2 R} \approx 42,3/\sqrt{D},$$

где D — диаметр вращения шаров, м.

Производительность шаровых мельниц Π определяется для каждого вида материала в зависимости от механических свойств и степени измельчения:

$$\Pi = k_{\pi} V D^{0,6},$$

где k_{π} — коэффициент, значение которого меняется ($k_{\pi} = 2,4 \pm 0,4$ при среднем размере частиц измельченного материала от 0,2 до 0,075 мм); V — объем барабана, м³; D — диаметр барабана, м.

Бисерные мельницы. Для непрерывного сверхтонкого механического измельчения продукта (диспергирования) с образованием суспензии применяются бисерные мельницы. Они состоят из размольного контейнера с электроприводом и насосной станции. Размольный контейнер представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд с рубашкой для охлаждения, внутри которого размещен вал с насаженными на него дисками.

Исходный продукт в виде суспензии подается насосом в нижнюю часть размольного контейнера, заполненного стеклянными шариками. При вращении ротора твердые частицы материала интенсивно измельчаются в результате трения и соударения с измельчающими шариками диаметром 0,8—1,2 мм. Пройдя через верхний патрубок, продукт откачивается в емкость или непосредственно поступает в технологическую линию.

Детали, соприкасающиеся с обрабатываемым продуктом, изготовлены из коррозионностойкой стали. Вместимость контейнера 125 л; температура в камере измельчения до 50 °С, в рубашке 20 °С; мощность электродвигателя 40 кВт. Габаритные размеры 1700 × 1030 × 3290 мм, масса 3100 кг.

14.2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ СЫПУЧИХ И ПАСТООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для стандартизации биологически активных веществ применяются различные типы смесителей. По принципу действия смесители могут быть периодические и непрерывные. В микробиологической промышленности применяются планетарно-шнековые, пневматические сопловые, центробежно-лопастные и ленточные непрерывные смесители.

Смесители периодического действия планетарно-шнековые. Смеситель для смешивания и усреднения сыпучих материалов размером частиц не более 5 мм (рис. 14.3) представляет собой смесительную камеру I конической формы, внутри которой расположены два

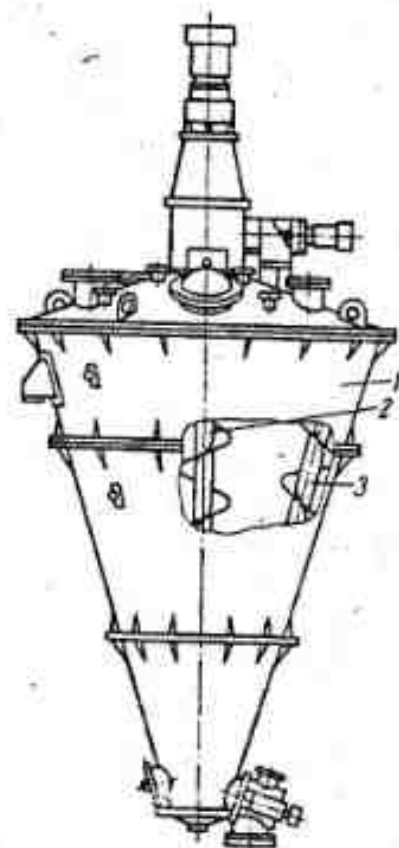


Рис. 14.3. Планетно-шнековый смеситель типа ПШ

шнека: центральный 2, установленный по оси смесительной камеры, и наклонный 3, установленный вдоль образующей конуса.

Центральный шнек закреплен консольно, наклонный нижним концом соединен с опорой, а верхний через муфту соединен с водилом. Вращение водила и шнеков осуществляется от индивидуальных приводов, расположенных на крышке смесительной камеры, вращение шнеков вокруг собственных осей — от привода, состоящего из мотор-редуктора или электродвигателя и редуктора, а вращение водила — от привода через муфту и червячную передачу.

Материал загружают через штуцера, расположенные на крышке, выгружают продукт через разгрузочный клапан, приводимый в действие от пневмоцилиндров. Смесители комплектуются электрооборудованием во взрывозащищенном исполнении.

Смеситель периодического действия пневматический сопловый типа ПС-100ВБК. Смеситель предназначен для смешения и усреднения термолабильных продуктов, которые нельзя измельчать и загрязнять. Он состоит из смесительной камеры, представляющей собой вертикальный цилиндрический сосуд с коническим дном, закрытый эллиптической крышкой. На крышке расположен ротационный пылеотделитель из двух параллельных дисков, между

Таблица 14.3. Техническая характеристика смесителей

Показатели	ПШ-630	ПШ-3200	ПШ-6300
Объем смесительной камеры, м ³			
рабочий	0,63	3,2	6,3
номинальный	1,0	5,0	10,0
Рабочее давление в пневмоцилиндре, МПа	0,4—0,6	0,4—0,6	0,4—0,6
Рабочая температура, °С	До 40	До 30	До 30
Частота вращения, мин ⁻¹			
шнека вокруг собственной оси	130	45	59
водила шнека вокруг оси смесителя	4	2,35	1,68
Мощность мотор-редуктора, кВт			
электродвигателя привода шнека	1,5	5,5	10,0
водила	0,8	1,5	3,0

которыми расположены лопатки. Привод пылеотделителя осуществляется от электродвигателя. В нижней части конического днища имеются разгрузочный клапан и сопла для подвода азота или воздуха.

Исходные материалы загружают через штуцера, расположенные на крышке. Сжатый азот (воздух) для перемешивания подается импульсами через сопла. Продукт выгружается через разгрузочный клапан, приводимый в действие от пневмоцилиндра.

Детали, соприкасающиеся с обрабатываемым материалом, изготавливаются из стали 08Х22Н6Т.

Техническая характеристика смесителя ПС-100ВБК

Номинальный объем смесительной камеры, м ³	0,2
Давление в смесительной камере, МПа	0,01—0,06
Температура в смесительной камере, °С	От +20 до —12
Мощность электродвигателя, кВт	0,8
Габаритные размеры, мм	905×1442×2220
Масса, кг	422

Смесители периодического действия центробежные лопастные. Центробежные смесители предназначены для быстрого гомогенного смешивания порошкообразных материалов. Смеситель (рис. 14.4) представляет собой вертикальный цилиндрический корпус с рубашкой 5, установленный на раме 8, в нижней части которого расположен смесительный орган, состоящий из перемешивающих 3 и соскребающих 6 лопастей. Материал загружается через штуцер 4.

При вращении смесительных элементов с частотой 750 мин⁻¹ от электродвигателя 7 с помощью направляющего устройства, расположенного внутри резервуара, смешиваемый материал приводится в псевдооживленное состояние. Наиболее интенсивная циркуляция смеси наблюдается при загрузке смесителя на 60—80 % объема. Смешивание длится 3—5 мин. Выгрузка продукта производится при открытии разгрузочного клапана 1 с помощью двух пневмоцилиндров 2.

Центробежные смесители изготавливаются двух типоразмеров емкостью 160 и 630 л. Детали, соприкасающиеся с обрабатываемой средой, изготавливают из стали 08Х22Н6Т.

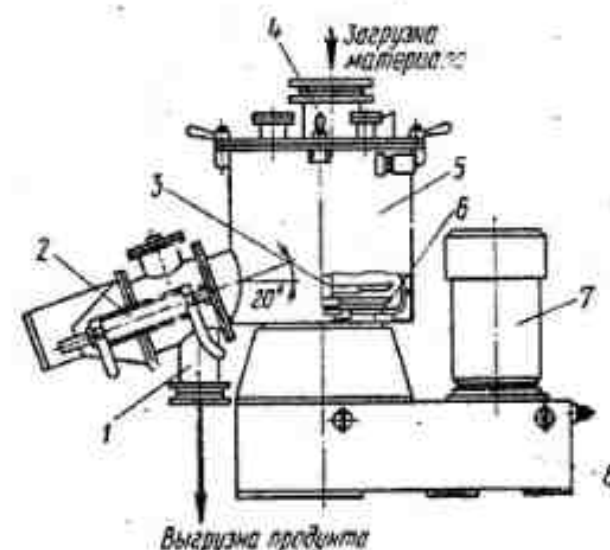


Рис. 14.4. Смеситель центробежный лопастный типа ЦЛ

Таблица 14.4. Техническая характеристика центробежных лопастных смесителей

Показатели	ЦЛ-100ВРК	ЦЛ-400ВРК
Объем смесительной камеры, м ³		
рабочий	0,1	0,4
номинальный	0,16	0,63
Давление, МПа		
в смесительной камере	0,002	0,002
в рубашке	0,4	0,6
в пневмоцилиндрах	0,4—0,6	0,4—0,6
Частота вращения рабочих органов, мин ⁻¹	720	525
Мощность электродвигателя, кВт	13	55
Габаритные размеры, мм	2300×954×995	3055×1450×1742
Масса, кг	995	2185

Ленточный смеситель непрерывного действия типа СНД-900. Ленточный смеситель предназначен для смешивания порошкообразных материалов и их увлажнения. используется в производстве средств защиты растений.

Смеситель представляет собой герметическую смесительную камеру с рубашкой корытообразной формы, заканчивающейся разгрузочной камерой. Внутри смесительной камеры размещены ротор, состоящий из вала с приваренными к нему ленточными лопастями, и обогреваемая паром форсунка для распыления жидкого материала. Привод смесителя осуществляется от электродвигателя через редуктор и клиноременную передачу.

Техническая характеристика ленточного смесителя непрерывного действия типа СНД-900

Объем смесительной камеры, м ³	
рабочий	1,25
номинальный	2,5
Давление, МПа	
в рубашке корпуса	0,25
в полости форсунки	1,0
в рубашке "	0,3
Рабочая температура, °С	
в корпусе	До 30
в полости форсунки	До 50
в рубашке "	143
Производительность (при насыпной массе материала 400 кг/м ³), кг/ч	1200
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	31,5
Мощность электродвигателя, кВт	10
Габаритные размеры, мм	5346×1480×1940
Масса, кг	4000

14.3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГРАНУЛИРОВАНИЯ

Гранулированные препараты имеют значительные преимущества по сравнению с тонкоизмельченными пылевидными препаратами. Выпуск товарного продукта в гранулированном виде повышает

его насыпную массу, значительно снижает пыление при транспортировании, дозировании, фасовании и упаковывании, исключает опасность вредного воздействия на организм человека при его применении.

Гранулированию подвергают дрожжи, ферментные препараты, аминокислоты (лизин), кормовые дрожжи и антибиотики, а также микробиологические средства защиты растений.

Продукты микробиологического синтеза обладают различными физико-химическими свойствами, и поэтому процесс образования гранул определяется их реологическими свойствами, энергией связи влаги с материалом, количеством и свойствами связующего вещества, временем перемешивания и выдержки и др.

В микробиологической промышленности применяются следующие виды оборудования для гранулирования: экструдеры и центробежные окатыватели, шнековые грануляторы формования, гранулирующие установки с виброкипящим слоем, грануляторы барабанного типа, машины для гранулирования методом прессования, совмещенные сушилки-грануляторы, грануляционные башни.

14.3.1. Машины для экструзии и центробежного окатывания

Экструдеры — машины непрерывного действия, в которых осуществляют процесс влажной грануляции. Червячные экструдеры-грануляторы бывают с продольным и поперечным продавливанием, в открытом и герметичном взрывозащищенном исполнении. На рис. 14.5 показан экструдер-гранулятор с продавливанием в продольном и поперечном направлениях. В корпусе экструдера расположены два червяка 4, вращающиеся в разные стороны, которые перемещают тестообразную массу в ситовый отсек. В ситовом отсеке расположены два кольцевых профильных ролика 2, укрепленных на одном валу с червяками. Диаметр профильных роликов увеличивается в направлении передвижения массы. С помощью привода 7 и редуктора 6 частота вращения червяков и профильных роликов регулируется от 0,28 до 1,17⁻¹. На конце вала расположен стопорный винт 1.

Тестообразная ферментная масса из приемной воронки 5 экструдера перемещается вращающимися червяками в ситовый отсек,

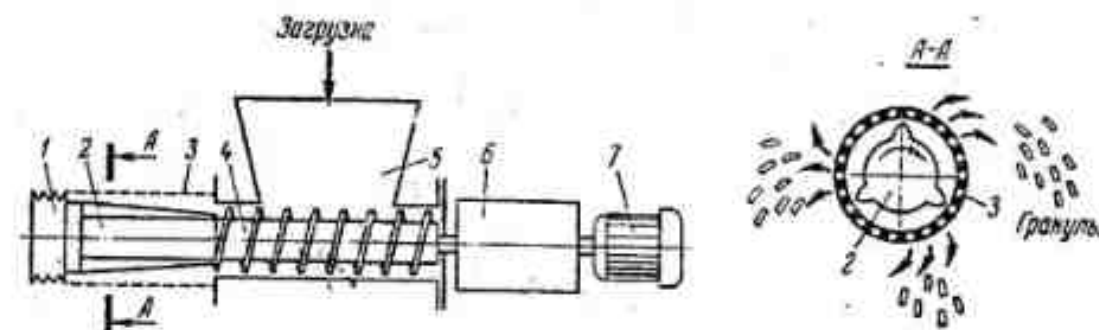


Рис. 14.5. Экструдер-гранулятор

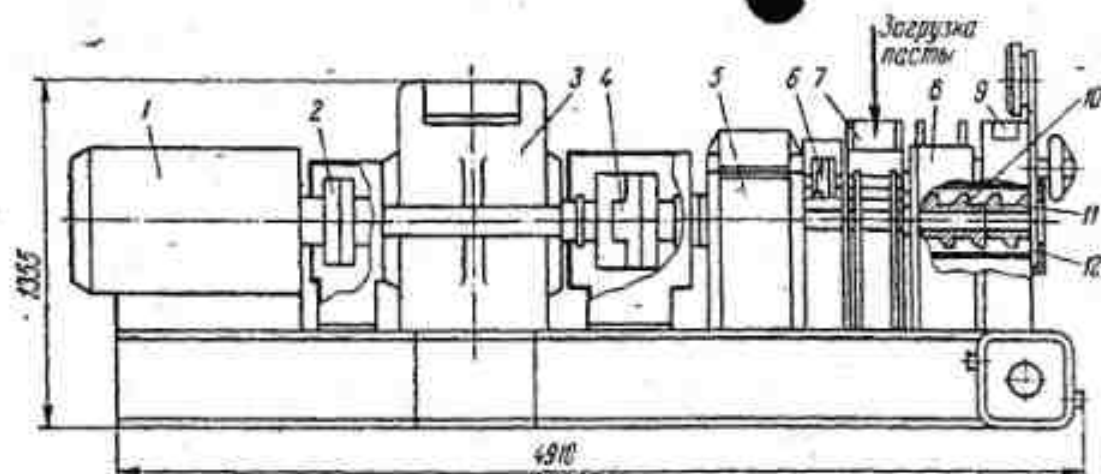


Рис. 14.6. Гранулятор шнековый типа ГФШ:

1 — электродвигатель; 2 — упругая штифто-пальцевая муфта; 3 — редуктор; 4 — кулачково-дисковая муфта; 5 — раздаточная коробка; 6 — предохранительная муфта; 7 — роторный нагнетатель; 8 — корпус; 9 — затвор; 10 — шнек; 11 — протирачная головка; 12 — фильерная решетка

где подпрессовывается профильными роликами и затем продавливается через решетки 3, расположенные по длине профильных роликов с противоположных сторон. Толщина выходящих жгутов определяется диаметром отверстий решетки. Экструдер снабжен сменными решетками с диаметром отверстий 1, 2, 3, 4 и 5 мм.

На качество и форму гранул существенно влияют тип червяка, форма профильного ролика для продавливания, частота вращения и условия в зоне сжатия.

14.3.2. Шнековые грануляторы

Шнековый формующий гранулятор для гранулирования пастообразных продуктов (рис. 14.6) состоит из загрузочного бункера или камеры, корпуса, изготовленного из коррозионностойкой стали,

Таблица 14.5. Техническая характеристика шнековых грануляторов

Показатели	ГФШ-90	ГФШ-150	ГФШ-300
Производительность, кг/ч	100—200	650	4000
Режим работы	Периодический	Непрерывный	
Живое сечение фильерной решетки, %	25	30—35	
Диаметр шнека, мм	90	150	300
Частота вращения, с ⁻¹			
шнека	0,3	0,5	0,55
запыхивающих валков	0,2	0,41	0,15
ножа	0,2—2	—	—
Мощность электродвигателя, кВт	5,5	7,5	75
Габаритные размеры, мм	2160×855×1520	2610×660×700	4910×1810×1355
Масса, кг	1100	1180	7550

внутри которого расположен шнек 10 с протирачной головкой 11, двух роторных нагнетателей 7, фильерной решетки 12, привода и узла резки.

Пастообразная масса непрерывно поступает в загрузочную камеру роторных нагнетателей, захватывается транспортной частью шнека, уплотняется и затем передавливается через фильерную решетку с помощью протирачной головки. Выходящий из фильеры продукт пластинчатым ножом режется на гранулы заданной длины.

14.3.3. Двухшнековый гранулятор типа ГФШ-200-2

Для гранулирования пастообразных продуктов типа гидролизного лигнина влажностью 55—58 % применяют непрерывный двухшнековый гранулятор.

Гранулятор (рис. 14.7) состоит из двух параллельных незацепляющихся шнеков с общей загрузочной камерой. Каждый шнек расположен в собственном корпусе, имеющем фильерный узел и протирачную головку. Параллельно шнекам в камере расположены два роторных нагнетателя, вращающихся синхронно со шнеками.

В загрузочную камеру роторных нагнетателей с помощью шнека непрерывно поступает продукт и направляется в прессующую

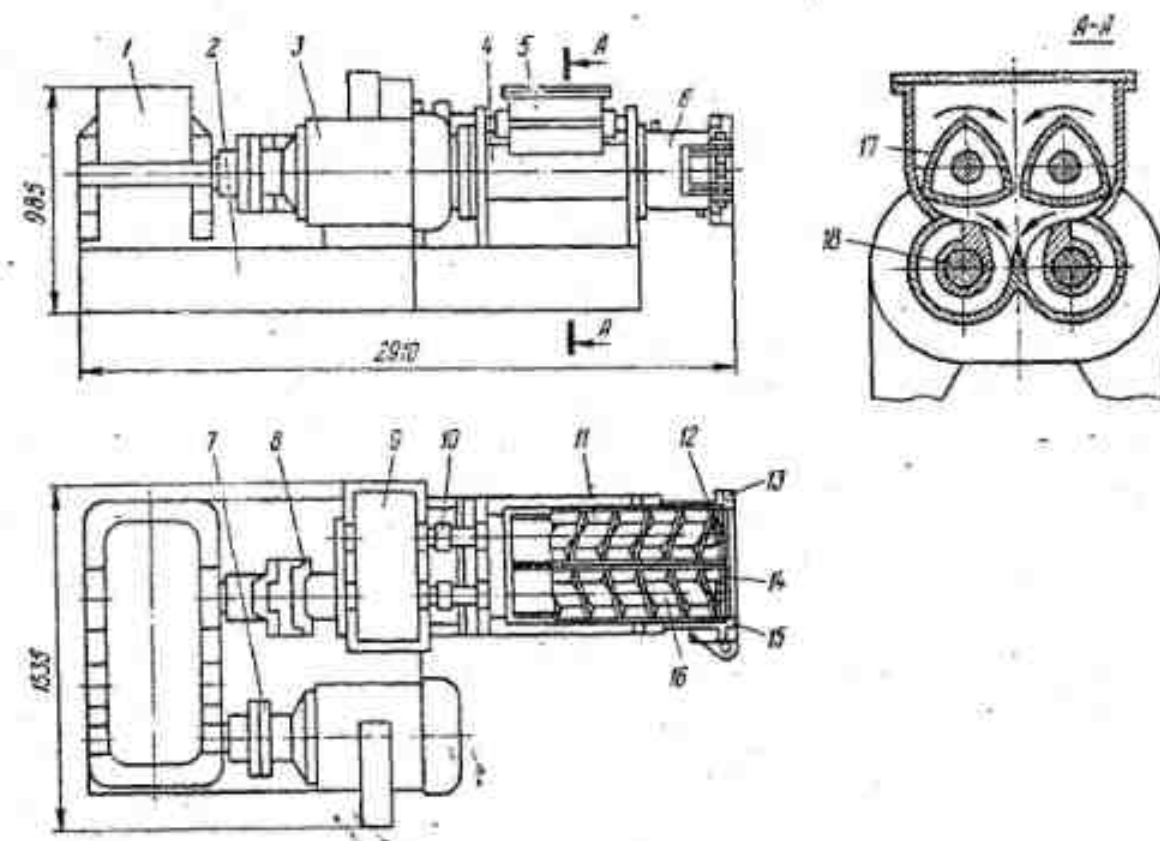


Рис. 14.7. Двухшнековый гранулятор ГФШ-200-2:

1 — редуктор; 2 — рама; 3 — электродвигатель; 4 — бункер; 5 — штуцер для загрузки порошка; 6 — корпус; 7 — упругая штифто-роликовая муфта; 8 — кулачково-дисковая муфта; 9 — передаточная коробка; 10 — предохранительная муфта; 11 — левый шнек; 12 — протирачная головка; 13 — матрица; 14 — нож; 15 — фильерная решетка; 16 — правый шнек; 17 — роторный нагнетатель; 18 — узел

часть, где он уплотняется и затем продавливается через фильтровую решетку с помощью протирачной головки.

Техническая характеристика гранулятора типа ГФШ-200-2

Производительность, кг/ч	3000—5000
Диаметр, мм	
шнеков	200
ротора-магнетателя	200
гранул	3—5
Частота вращения шнеков, с ⁻¹	0,85
Мощность электродвигателя, кВт	40
Габаритные размеры, мм	2910×1535×985
Масса, кг	3760

Для придания гранулам сферической формы применяют машины центробежного окатывания. Центробежный окатыватель представляет собой неподвижную вертикальную емкость из нержавеющей стали, внутри которой на валу расположен вращающийся с частотой от 4,17 до 16,6 с⁻¹ диск с рифленой поверхностью. Изменение частоты вращения производят поворотом ручки маховика. Для получения гранул разных размеров применяют четыре типа сменных дисков с насечками 2, 3, 4 и 5 мм. Диски с большим размером насечек используются для изготовления гранул крупных размеров.

Из экструдера продукт загружают в центробежный окатыватель, и при вращении диска гранулы приобретают сферическую форму, двигаясь по спирали вокруг тороидального основания и поднимаясь сначала вверх по поверхности стенки, а затем опускаясь вниз. Образующаяся мелкая фракция продукта проскакивает в зазор между дисками и стенкой корпуса и при помощи расположенного под диском скрепера отбрасывается в сборник.

Продолжительность центробежного окатывания одной загрузки (цикла) колеблется от 15 с до нескольких минут. Чем больше скорость вращения, тем меньше продолжительность гранулирования.

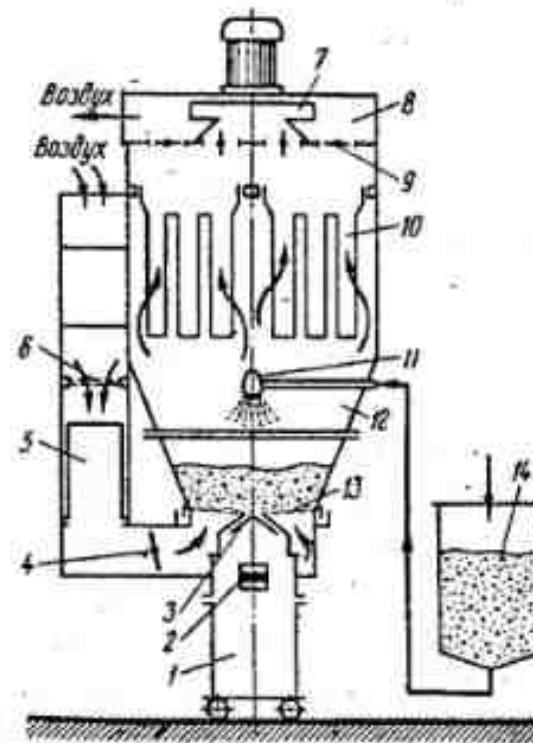
14.3.4. Оборудование для гранулирования в виброкипящем слое

Метод гранулирования в псевдокипящем слое заключается в том, что находящийся в вихревом псевдооживленном состоянии продукт, непрерывно орошаясь связующей жидкостью, смешивается, гранулируется и затем высушивается в этом же аппарате. При физической обработке порошкообразных препаратов с размером частиц около 100 мкм используют свойство порошкообразных продуктов при добавлении жидкости образовывать агломераты под действием особых сил сцепления.

Грануляционная установка с псевдооживленным слоем продукта (рис. 14.8) состоит из дозатора, аппарата для гранулирования, вентилятора, создающего необходимый воздушный поток для образования псевдооживленного слоя и перемешивания всей массы, кало-

Рис. 14.8. Установка для грануляции в псевдокипящем слое:

1 — приемная емкость; 2 — пневматический цилиндр; 3 — резиновый конус; 4 — клапан; 5 — калорифер; 6 — фильтр; 7 — вентилятор; 8 — камера четырехсегментная; 9 — клапан; 10 — рукавный фильтр; 11 — форсунка; 12 — камера; 13 — перфорированное днище; 14 — емкость для гранулирующей жидкости



рифера для нагревания воздуха, приемного бункера и механизма подъема крышки гранулятора.

Гранулятор представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат из нержавеющей стали. Внутри него в нижней конической части расположено перфорированное днище из нержавеющей проволоочной сетки, размер отверстий которой рассчитывают на тонкий помол препарата. Живое сечение перфорированного днища и перепад давления на нем в зависимости от свойств гранулируемого продукта варьируются так, чтобы распределение воздушного потока перед входом гранулятора было равномерным.

В средней части аппарата, стенки которого тщательно отполированы, расположено перемещающееся в вертикальной плоскости одноматериальное и двухматериальное сопла. Применение двухматериального сопла позволяет регулировать расход гранулирующей жидкости и давление воздуха. Тип сопел и насосов выбирают экспериментально в зависимости от вязкости связующей жидкости в условиях псевдооживленного слоя.

Орошающая жидкость подается к соплу перестальтиковым насосом высокого давления, благодаря чему достигается ее тонкое распыление с большим углом орошения. Величина капель жидкости зависит от давления воздуха и существенно влияет на процесс формирования гранул.

В верхней части аппарата расположены рукавные фильтры из нейлона, прикрепленные металлическими держателями к корпусу аппарата. Металлические держатели служат также для отвода статического электричества. Над верхней крышкой аппарата расположена камера, разделенная на четыре сегмента, с переключающимися клапанами, которые открываются пневматически с помощью цилиндра со сжатым воздухом.

В процессе гранулирования воздух поступает внутрь фильтровальных рукавов, где очищается и выходит через клапан первого сегмента. Автоматически через заданные промежутки времени открывается клапан, установленный во втором сегменте, а клапан первого сегмента закрывается. Осевшая пыль сбрасывается внутрь

камеры. Очистка длится 1—2 с. Такой способ очистки фильтра значительно повышает качество гранулирования.

Воздух подают всасывающим вентилятором в гранулирующий аппарат, благодаря чему внутри аппарата создается некоторое разрежение и проникновение продукта из аппарата в производственное помещение исключается. Для очистки и нагревания воздуха применяют паровые калориферы и фильтры грубой очистки, а при необходимости — фильтры бактериальной очистки. Скорость и расход воздуха регулируются автоматически.

Состояние псевдоожижения порошка поддерживается автоматически путем регулирования изменения скорости потока, расхода воздуха и давления. Расход воздуха составляет 1 м³/мин на 1,5—2 кг загруженного продукта.

Сушку гранул проводят в этом же аппарате в условиях псевдокипящего слоя. В нижней внутренней части гранулятора расположен резиновый конус, опускающийся и поднимающийся под действием пневматического цилиндра. При разгрузке резиновый конус опускается, боковой клапан остается немного открытым и продукт, находящийся на коническом перфорированном днище, разгружается в приемный бункер. По окончании разгрузки резиновый конус пневматически поднимается вверх и боковой клапан полностью открывается. Из приемного бункера гранулы пневмоподачей передаются на фасовку.

Недостатком этого метода гранулирования является возможность возникновения высоких зарядов статического электричества (до 100 000 В), что может вызвать образование искры и привести к взрыву смеси. По мере удаления воды из материала и вследствие трения частиц электрический потенциал возрастает. При этом заряжаются все пространство гранулятора и даже воздух, проходящий через фильтрующие рукава. Величина потенциала заряда зависит от относительной влажности воздуха, его скорости и состава гранул. Для предотвращения накопления электростатических зарядов необходимы тщательное заземление корпуса сушилки и его элементов, а также установка на аппарате предохранительного клапана.

К преимуществам этого метода относятся совмещение процессов увлажнения, гранулирования и сушки в одном аппарате; быстрота процесса; малая площадь, занимаемая установкой; автоматизация процессов загрузки, выгрузки, контроля и регулирования.

Производительность грануляционных установок с псевдоожиженным слоем от 0,2 до 600 кг/ч.

14.3.5. Грануляторы окатывания

Гранулирование окатыванием осуществляют в барабанных, тарельчатых, конических, вибрирующих и других аппаратах периодического и непрерывного действия при совмещении в них процессов окатывания, сушки и классификации гранул по их размеру.

Барабанный гранулятор-сушилка типа СГБ-4,5-16 представляет

собой барабан, опирающийся бандажми на опорную и опорно-упорную станции. Вращение барабана осуществляется от электродвигателя через редуктор, зубчатую шестерню и зубчатый венец, укрепленный на барабане. Внутри барабана расположены лопатки в виде дискретной спирали, предназначенные для образования завесы из мелких сухих гранул продукта при вращении барабана.

На внутренней поверхности стенки барабана расположен закрытый шнек коробчатого сечения, предназначенный для транспортировки части ретур из зоны выгрузки в зону загрузки. Пневматической форсункой пульпа распыливается с помощью сжатого воздуха в среду теплоносителя в виде капель, покрывающих тонкой пленкой гранулы, находящиеся в аппарате. Продвигаясь вдоль барабана, имеющего угол наклона 3°, гранулы увеличиваются в объеме и высушиваются. После классификации в барабане мелкая часть продукта возвращается шнеком в головную часть аппарата, а гранулы поступают в колосниковое сито и просеиваются. При этом надситный продукт измельчается в дробилке, а подситный попадает на грохот для отделения гранул размером 1—4 мм и крупную фракцию (более 4 мм), которые после дробления совместно с мелкой фракцией (менее 1 мм) и продуктом после молотковой дробилки поступают по внешней коммуникации через загрузочный штуцер барабана в его головную часть. Пыль, уносимая отработавшим теплоносителем, после отделения в циклонах также возвращается в аппарат в виде ретура.

При выборе связующего раствора следует учитывать его влияние на структурно-механические, технологические и упруговязкие свойства гранул. Наибольшей прочностью (до 14—19 МН/м²) обладают гранулы при введении плазмолизата и дрожжевого концентрата.

Техническая характеристика гранулятора СГБ-4,5-16

Производительность, кг/ч	
по продукту	25 000
• испаренной влаги	5 700
Влажность, %	
пульпы	22
готового продукта	1
Давление, МПа	
воздуха	0,3
пульпы	0,2
Частота вращения барабана, с⁻¹	0,075
Мощность электродвигателя, кВт	320
Габаритные размеры, мм	21 000×7000×8000
Масса, кг	195 000

14.3.6. Установки для гранулирования методом прессования

Установки для гранулирования методом прессования работают по принципу вальцевания продукта под давлением между двумя вращающимися в противоположных направлениях вальцами. Вы-

бор формы поверхности валков зависит от свойств материала, а также требований, предъявляемых к готовой продукции. Поверхность валков может быть гладкой, профилированной или в виде зубчатых колес (гранулирующие валки).

Установка состоит из загрузочной воронки с вертикальным шнеком для предварительного уплотнения и деаэрирования, двух прессоочных валков, закрытых в стальном кожухе, привода и механизма плавного регулирования частоты вращения валков.

Загрузочными устройствами могут быть одно- или многоходовые конические или коническо-цилиндрические шнеки с автоматически регулируемым приводом. Такие устройства позволяют вести подачу под высоким давлением.

Материалы, подлежащие гранулированию, должны обладать антифрикционными свойствами, что достигается путем введения специальных добавок.

При гранулировании биологически активных веществ аппараты снабжают охлаждающей системой. Гранулированный препарат пропускают через классификатор для отбора гранул требуемого размера. Более крупные или мелкие фракции возвращаются на повторное гранулирование.

14.3.7. Гранулятор-сушилка для кормовых дрожжей и лизина

Разработана установка для гранулирования в псевдооживленном слое малоцентрированных термолабильных суспензий лизина и кормовых дрожжей.

Гранулятор состоит из корпуса прямоугольного сечения с газовой камерой, газораспределительной решетки, реакционной камеры и форсунок. Через нижний штуцер аппарата под слой продукта подают воздух для псевдооживления продукта.

Установка производительностью 1000 кг/ч состоит из пяти последовательно расположенных секций, соединенных между собой переточными устройствами туннельного типа. В зоне орошения используется сушильный агент с температурой 500—600 °С.

Гранулятор-сушилка с локальным фонтанированием (рис. 14.9) представляет собой цилиндрикоконическую камеру 3 с высотой цилиндрической части 1000 мм, конической — 1500 и диаметром 1600 мм. На корпусе расположены штуцера для подачи наполнителя (сульфата натрия), выхода отработавшего теплоносителя и датчиков приборов контроля. К нижнему фланцу крепится газоподводящая камера 11 в виде цилиндра диаметром 900 мм. Между газопроводящей камерой и сушилкой зажата двухслойная газораспределительная решетка 15, нижний перфорированный слой имеет живое сечение 4,0 %, верхний слой представляет собой фильтровальную сетку с ячейками 0,4 мм. Газоподводящая камера 11 разделена горизонтальной перегородкой на две части: верхнюю 14 для тангенциальной подачи холодного воздуха через воздушный фильтр 18 насосом 17 под решетку и нижнюю 13 для тангенциальной подачи горячего воздуха через воздушный фильтр 20 воздуховод-

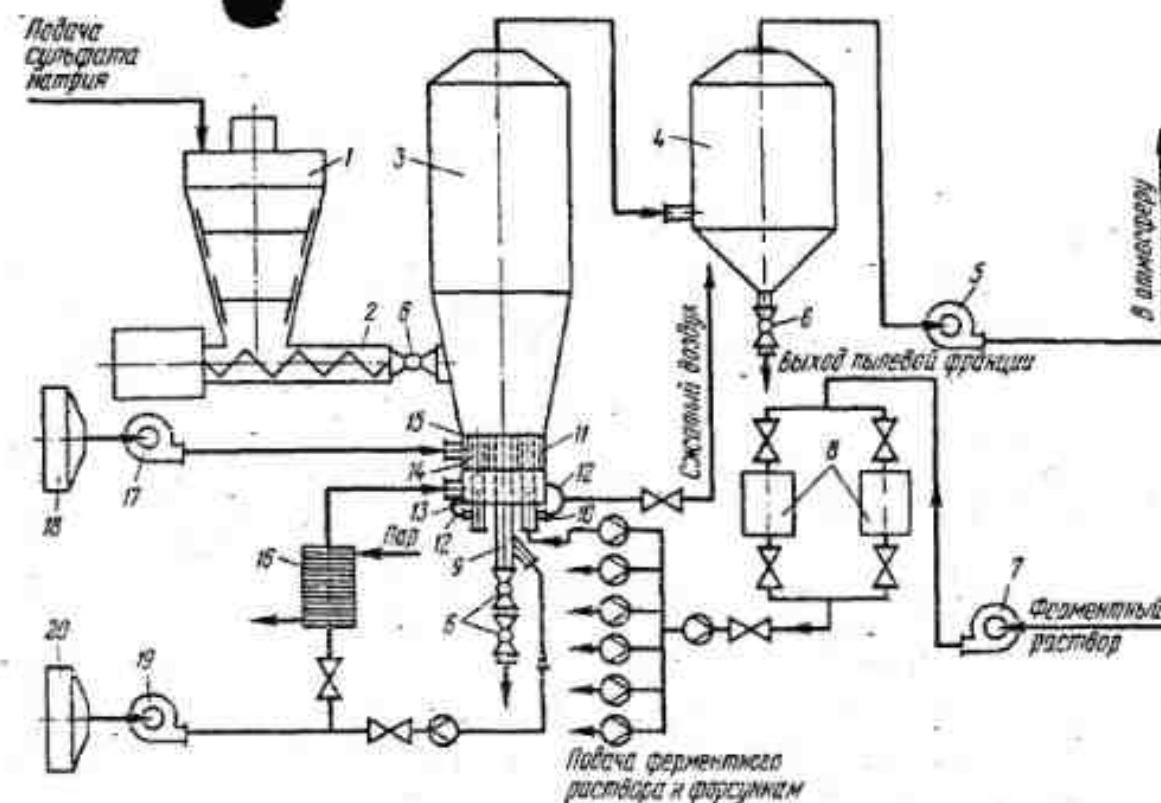


Рис. 14.9. Гранулятор-сушилка ферментных препаратов

кой 19 и паровой калорифер 16 в сопла. В горизонтальной перегородке диаметром 500 мм по окружности расположены шесть сопел 10 диаметром 150/80 * мм с воздушной охлаждающей рубашкой. В сопла вставлены завихрители. В центре сопел расположены пневматические форсунки, закрепленные в днище камеры. В центре газораспределительной решетки имеется выгрузная воронка, соединенная внизу с выгрузной трубой 9 диаметром 150 мм. В воронку вставлен вытеснительный конус с шестью выгрузными отверстиями диаметром 60 мм и одним центральным отверстием диаметром 50 мм для сброса избыточного воздуха. Это отверстие может перекрываться специальным роликом.

В центре камеры горячего воздуха под выгрузной трубой расположена съемная коническая камера охлаждения с водяной рубашкой. Нижняя часть камеры охлаждения сделана прозрачной из оргстекла для наблюдения за процессом псевдооживления охлаждаемых гранул. Под решетку нижней камеры через фильтр 20 воздуховодкой 19 подают охлаждающий воздух. По центру камеры охлаждения расположена выгрузная труба диаметром 65 мм.

К днищу газопроводящей камеры крепится коллектор сжатого воздуха, соединенный резиновыми шлангами 12 с форсунками.

* В числителе — больший диаметр, в знаменателе — меньший. Сопла представляют собой три концентрически расположенные трубы. По внутренней трубе подается раствор продукта, по внешней — сушильный агент, по средней — холодный воздух.

Сушилка снабжена системой пожаротушения, предохранительной мембраной, люками, лазами, смотровыми окнами и светильниками. К сушилке примыкает бункер для сульфата натрия / объемом 1 м^3 , внутри которого расположена мешалка, вращающаяся со скоростью 14 мин^{-1} . Из бункера сульфат натрия поступает в сушилку через дозатор 2 непрерывного действия, обеспеченный взрывозащищенным дозирующим блоком, взрывобезопасным блоком, пневмоаппаратурой и пультом управления.

Дозатор включает в себя питатель вибрационного типа 6 с переменным числом колебаний, ленточный транспортер, бункер с пневмовибратором, выгрузную воронку с перекидной заслонкой и весовой механизм. Максимальная производительность дозатора $0,4 \text{ т/ч}$.

Очистка суспензии ферментного препарата производится путем подачи его насосом 7 через одно- или двухсетчатый фильтр 8 с поверхностью фильтрации $0,015 \text{ м}^2$. Фильтр представляет собой цилиндрический аппарат диаметром 110 мм с коническим днищем и плоской крышкой. Внутри фильтра расположена фильтровальная корзина, на боковых поверхностях — штуцера для входа и выхода раствора, а в днище — штуцер для слива осадка при промывании.

Установка помимо сушилки включает комплектующее вспомогательное оборудование, обеспечивающее подачу воздуха на распыление, сушку, охлаждение, поддержание слоя во взвешенном состоянии с требуемыми параметрами, подачу основных и вспомогательных продуктов, контроль и управление процессами.

Целевой продукт насосом через фильтр и расходомер подается в форсунки сушилки. Воздух на распыление подается газодувкой. Воздух на сушку нагревается до 250°C в комбинированной электропаровой установке или газовом теплогенераторе. Предварительно воздух очищается в фильтре.

Удаление основного количества испаряемой влаги (до 90%) происходит в факеле форсунки, который образуется внутри кипящего слоя частиц. Кипящий слой поддерживается воздухом, подаваемым вентилятором, температура которого равна температуре готового продукта или превышает ее на $3\text{--}5^\circ\text{C}$. В процессе работы сушилки частицы наполнителя обволакиваются раствором продукта, слипаются и образуют гранулы, размер которых непрерывно увеличивается. Остаток влаги испаряется в объеме кипящего слоя и при гидратации частиц носителя.

Важным условием работы сушилки-гранулятора является полная и непрерывная циркуляция всех частиц в объеме слоя. В процессе циркуляции все частицы через боковые разгрузочные отверстия конуса ссыпаются в сепарационный канал. Скорость воздуха в сепарационном канале регулируется таким образом, чтобы частицы, достигшие заданного размера, проваливались в холодильник, а меньшие через центральное отверстие возвращались в кипящий слой.

Из холодильника готовые гранулы через затворы выводятся на укладку. Отработавший воздух из сопел, холодильника и кипя-

щего слоя выводится из сушилки с помощью вентилятора 5, очищается в фильтре и выбрасывается в атмосферу. Пылевая фракция из фильтра периодически возвращается в установку.

Для полного улавливания продукта из отработавшего теплоносителя установлен рукавный фильтр 4, представляющий собой вертикальный цилиндрический аппарат с тангенциальным вводом воздуха, соединенный с вентилятором 5. В камере чистого воздуха фильтра расположено устройство импульсной продувки рукавов. Продувка происходит поочередно по два рукава одновременно. Управление работой клапанов продувки осуществляется пневматически. На конусном днище фильтра крепится пневмовибратор с пневматическим клапаном. Площадь поверхности фильтрования фильтра РЦИ $31,2 \text{ м}^2$, число рукавов 48, материал рукавов — полотно иглопробивное, нагрузка на полотно не более $8 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$, сопротивление фильтра не более $1,15 \text{ кПа}$; габаритные размеры $2450 \times 1788 \times 4640 \text{ мм}$. Фильтры для очистки воздуха, подаваемого в сопла сушилки и под решетку сушилки, установлены с четырьмя ячейками площадью рабочего сечения $0,22 \text{ м}^2$.

Для выгрузки продукта из сушилки, выгрузки пыли из фильтра и загрузки сульфата натрия в сушилку установлены шлюзовые питатели 6 производительностью $0,14\text{--}1,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ и частотой вращения $2,19 \text{ мин}^{-1}$.

14.3.8. Расчет гранулятора-сушилки для продуктов микробиологического синтеза

В расчет установок для гранулирования и сушки различных продуктов микробиологического синтеза входят технологический, тепловой, гидравлический, аэродинамический и конструктивный расчеты.

Для расчета необходимо знать следующие параметры:

производительность по готовому продукту P , кг/ч;

содержание сухих веществ в ферментном растворе $G_{\text{св}}$, %;

конечную влажность продукта w_k , %;

средний диаметр готовых гранул $d_{\text{ср}}$, мм;

температуру сушильного агента на входе, К;

в сопле T_c ;

под решеткой T_p ;

в конце факела T_f ;

плотность массы сухих гранул продукта $\rho_{\text{нас}}$, кг/м³;

плотность продукта ρ_p , кг/м³;

теплоемкость раствора c , кДж/(кг·К);

теплоемкость готового продукта при конечной влажности c_p , кДж/(кг·К).

Расчет размеров аппарата для гранулирования и сушки препарата. Для расчета габаритов аппарата необходимы следующие дополнительные данные: диаметр выходного сечения суспензии $D_{\text{ср}} = 0,006 \text{ м}$, расход суспензии $\rho_c = 80\text{--}100 \text{ кг/ч}$, диаметр сопла на входе $d_{\text{вх}} = 0,14 \text{ м}$, диаметр сопла на выходе $D_{\text{с, вых}} = 0,08 \text{ м}$, скорость воздуха для псевдоожижения продукта $c_{\text{ж.о}} = 1,25 \text{ м/с}$.

Количество форсунок

$$n = P_c / p_{\text{ф}},$$

где P_c — расход суспензии, кг/ч; $p_{\text{ф}}$ — количество суспензии, распыляемое одной форсункой, кг/ч.

Примем шаг форсунок с учетом раскрытия сопла равным h_{cp} , а расстояние сопла от стенок $l_{ст} = 1,8 D_{с. вых.}$, тогда диаметр решетки (м)

$$D_p = 2h_{cp} + 2l_{ст}.$$

Площадь решетки в зоне псевдоожижения (м²)

$$F_p = \pi/4 (D_p^2 - D_n^2 - 6D_{с. вых.}^2).$$

где D_n — диаметр отверстия в решетке для выгрузки готового продукта, м.

Расход воздуха на псевдоожижение, распыление суспензии, охлаждение и сепарацию. Скорость витания частиц при среднем диаметре частиц d_{cp}

$$v_{вт} = Ag v_{20} / [d_{cp} (18 + 0,61 \sqrt{Ag})],$$

где v_{20} — кинематическая вязкость воздуха при $t = 20^\circ C$, м²/с ($v_{20} = 15 \cdot 10^{-6}$ м²/с); Ag — критерий Архимеда.

$$Ag = g d_{cp}^3 \rho_n / v_{20}^2 \rho_{20},$$

где ρ_n — плотность продукта, кг/м³ ($\rho_n = 2200$ кг/м³); ρ_{20} — плотность воздуха при $t = 20^\circ C$ ($\rho_{20} = 1,2$).

Скорость локального фонтанирования частиц

$$v_{cp} = v_{вт} + 485 \sqrt{g H_0} (v_{вт} / v_{п.о})^{0,28} (D_{с. вых.} / D_{cp})^{0,33} \cdot (h_{cp} / D_{с. вых.})^{0,12},$$

где H_0 — высота неподвижного слоя гранул в аппарате, м ($H_0 = 0,7$ м).

Расход воздуха, подаваемого под решетку при температуре T_p и плотности $\rho_{20} = 1,2$ кг/м³ (кг/ч).

$$V_n = 3600 v_{п.о} \rho_{20} F_p.$$

Расход воздуха на распыление суспензии (м³)

$$V_{расп} = V_{пред} / \rho_{ч.},$$

где $V_{пред}$ — предельный расход воздуха на распыление, кг/ч. ($V_{пред} = 0,4$ кг/кг).

Расход воздуха на охлаждение и сепарацию готового продукта в трубе-сепараторе (кг/ч)

$$V_{т.с} = 3600 v_{т.с} \rho_{20} \frac{\pi D_{т.с}^2}{4},$$

где $v_{т.с}$ — скорость воздуха в трубе-сепараторе, м/с (при отдуве частиц диаметром 0,5 мм $v_{т.с} = 3$ м/с); $D_{т.с}$ — диаметр трубы-сепаратора, м ($D_{т.с} = 0,15$ м).

Тепловой баланс уста. вки. Расход теплоты на нагрев продукта и испарение влаги (кДж)

$$Q_{исп} = W_{исп} q.$$

где $W_{исп}$ — количество влаги, испаренной в сушилке в секунду, кг; q — удельный расход теплоты на сушку с учетом потерь, кДж/кг ($q = 3760$ кДж/кг).

Расход теплоты на нагревание холодного воздуха, подаваемого под решетку для распыления суспензии и в трубу-сепаратор (кг/ч).

$$Q_{возд} = (V_n + V_{расп} + V_{т.с}) c_a (T_{отр} - T_0),$$

где c_a — теплоемкость воздуха при средней температуре, кДж/(кг·К) ($c_a = 1,01$ кДж/(кг·К)); $T_{отр}$ — температура уходящего из сушилки отработанного воздуха, К; T_0 — температура холодного воздуха, К.

Общий расход теплоты в сушилке (кВт)

$$Q_{общ} = Q_{исп} + Q_{возд}.$$

Расход суш. агента (м³)

$$V_{суш} = Q_{общ} / [c_a (T_c - T_{отр})].$$

Гидравлический расчет сушилки. Шаг отверстий (м)

$$s = \sqrt{0,785 D_{отв}^2 / (0,5 f_{жив} \sin 60)},$$

где $D_{отв}$ — диаметр отверстий в решетке, м; $f_{жив}$ — живое сечение решетки, %.

Ориентировочное количество отверстий

$$n_{отв} = f_{жив} F_p / f_{отв},$$

где $f_{отв}$ — площадь отверстия, м².

Скорость движения газа в отверстиях решетки (м/с)

$$v_{отв} = V_n / (3600 n_{отв} \rho_{20}).$$

Коэффициент гидравлического сопротивления решетки

$$\xi_p = K_1 K_2 [0,35 + (1 - f_{жив})^2],$$

где K_1 — коэффициент влияния толщины решетки (при толщине решетки $\delta_p = 3$ мм $K_1 = 1,1$); K_2 — коэффициент влияния соотношения толщины решетки и диаметра отверстий (при $\delta_p / D_{отв} \cong 1,5$ $K_2 = 1,1$).

Тогда сопротивление решетки (Па)

$$\Delta p_p = \xi_p \rho_{20} v_{отв}^2 / 2.$$

Гидравлическое сопротивление слоя гранул (Па)

$$\Delta p_{сл} = H_0 \rho_{нас} g.$$

Суммарное сопротивление (Па)

$$P = \Delta p_p + \Delta p_{сл}.$$

Коэффициент гидравлического сопротивления завихрителя, установленного в сопле сушилки $\xi_c = 8$.

Перепад давления в сопле

$$\Delta p_c = \xi_c \rho_c v_c^2 / 2,$$

где ρ_c — плотность воздуха в сопле при температуре T_c , кг/м³; v_c — скорость воздуха в сопле, м/с.

$$v_c = V_{суш} / [0,785 \rho_c (D_{с. вх.}^2 - D_{с. вых.}^2) \pi].$$

14.4. УСТАНОВКИ ДЛЯ МИКРОКАПСУЛИРОВАНИЯ

В микробиологической промышленности получило развитие микрокапсулирование ферментных препаратов путем покрытия частиц препарата оболочкой из неионогенных веществ.

Процесс микрокапсулирования осуществляется следующим образом (рис. 14.10). Распыленный при температуре $70^\circ C$ оксид ЦС-100 или полиэтиленгликоль по обогреваемой трубе поступает в обогреваемый смеситель 7. Одновременно из бункеров 1 и 2 с по-

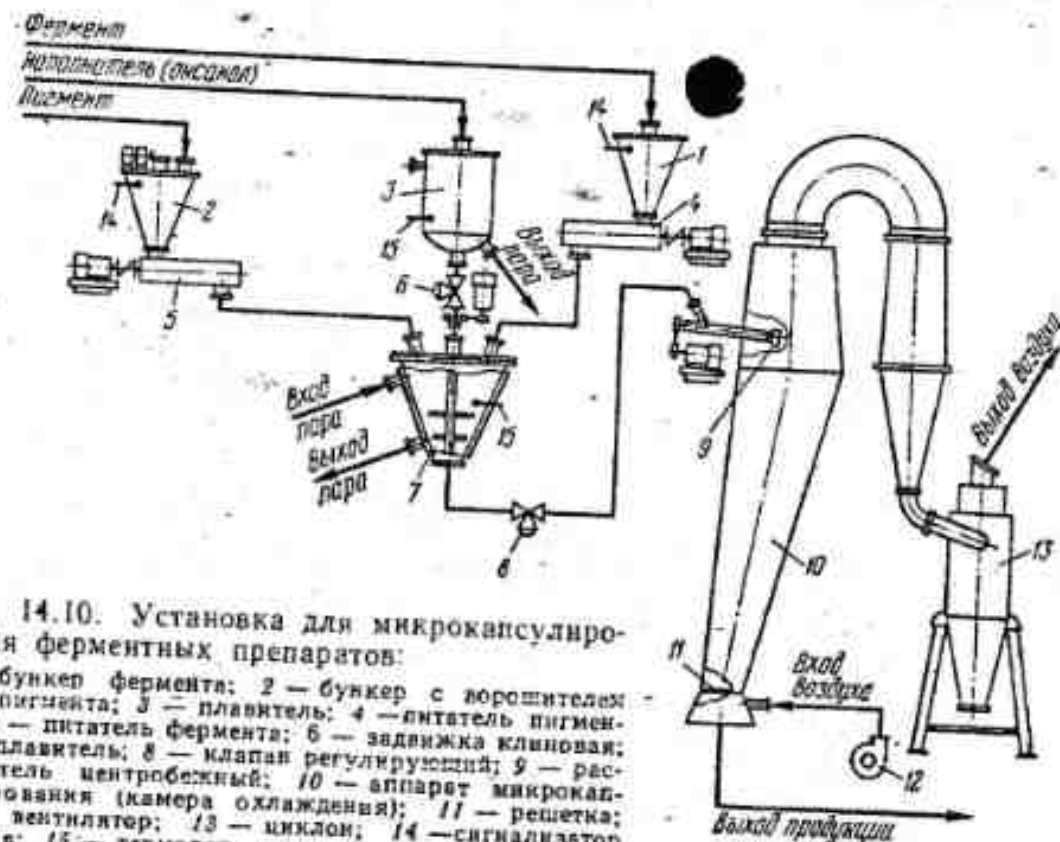


Рис. 14.10. Установка для микрокапсулирования ферментных препаратов:

1 — бункер фермента; 2 — бункер с воронителем для пигмента; 3 — плавильник; 4 — плавильник пигмента; 5 — задвижка клиновидная; 6 — распылитель центробежный; 7 — клапан регулирующий; 8 — аппарат микрокапсулирования (камера охлаждения); 9 — решетка; 10 — циклон; 11 — выходной клапан; 12 — вентилятор; 13 — термистор.

мощью питателей 4 и 5 в смеситель поступают в определенных дозах ферментный препарат, наполнитель и двуокись титана (или другое вещество для улучшения свойств фермента), которые тщательно смешиваются. Полученная смесь по обогреваемой трубе поступает в верхнюю часть башни 10, где распыляется центробежным распылителем. Под действием сил поверхностного натяжения формируются сферические капсулы, которые, падая, затвердевают. В нижнюю часть башни противоточно поступает воздух в количестве до 80 м³ на 1 кг капсул. Для создания псевдокипящего слоя и укрупнения частиц в нижней части башни установлена сетка. Образованные микрокапсулы выводят через боковой штуцер. Для микрокапсулирования также применяется установка фирмы «Сабиз» (Италия). В установку входят дозаторы непрерывного действия для дозирования порошкообразного ферментного препарата и дозатор, плавильный аппарат для расплавления этоксилированного спирта, дозировочный насос для перекачки расплавленного спирта, дозатор красителя, гомогенизатор-смеситель, распылительная башня с комплектом форсунок и системой очистки воздуха, поршневой насос высокого давления, воздушный компрессор, система охлаждения воздуха, классификатор, фасовочный автомат и средства автоматизации и управления процессом.

Принципиальная схема установки фирмы «Сабиз» для микрокапсулирования ферментных препаратов показана на рис. 14.11. Узел приготовления состава композиции состоит из дозаторов непрерывного действия для сухих и жидких компонентов, регулирующих устройств. Из питателей компоненты поступают в шнеко-

вый конвейер и далее — в смеситель непрерывного действия, где они тщательно перемешиваются до гомогенного состояния.

Перед подачей в распылительную башню смесь пропускают через самоочищающиеся фильтры и далее — в поршневой насос высокого давления (до 8 МПа). С помощью насосов устанавливается постоянное давление подачи смеси к форсункам, расположенным в верхней части распылительной башни. В зависимости от свойств распыляемого продукта (плотности, влажности и желаемого размера капсул) система подачи воздуха может быть прямоточной, противоточной или комбинированной. Циркуляция воздуха осуществляется с помощью трех вентиляторов. Два из них работают непрерывно: один подает воздух для нагрева, а второй, установленный после системы циклонов, обеспечивает необходимое давление или разрежение. Третий вентилятор обеспечивает подачу в башню холодного воздуха.

При капсулировании и сушке с прямоточной подачей горячий воздух нагнетается вентилятором в верхнюю часть башни и с помощью воздухораспределителя направляется вертикально сверху вниз, параллельно оси башни. В конусе башни установлено особое устройство, в котором капсулы отделяются от воздуха. Воздух удаляется из башни с помощью циклонов и вытяжного вентилятора. В нижней части башни с помощью другого вентилятора создается разрежение, за счет чего происходит всасывание холодного воздуха

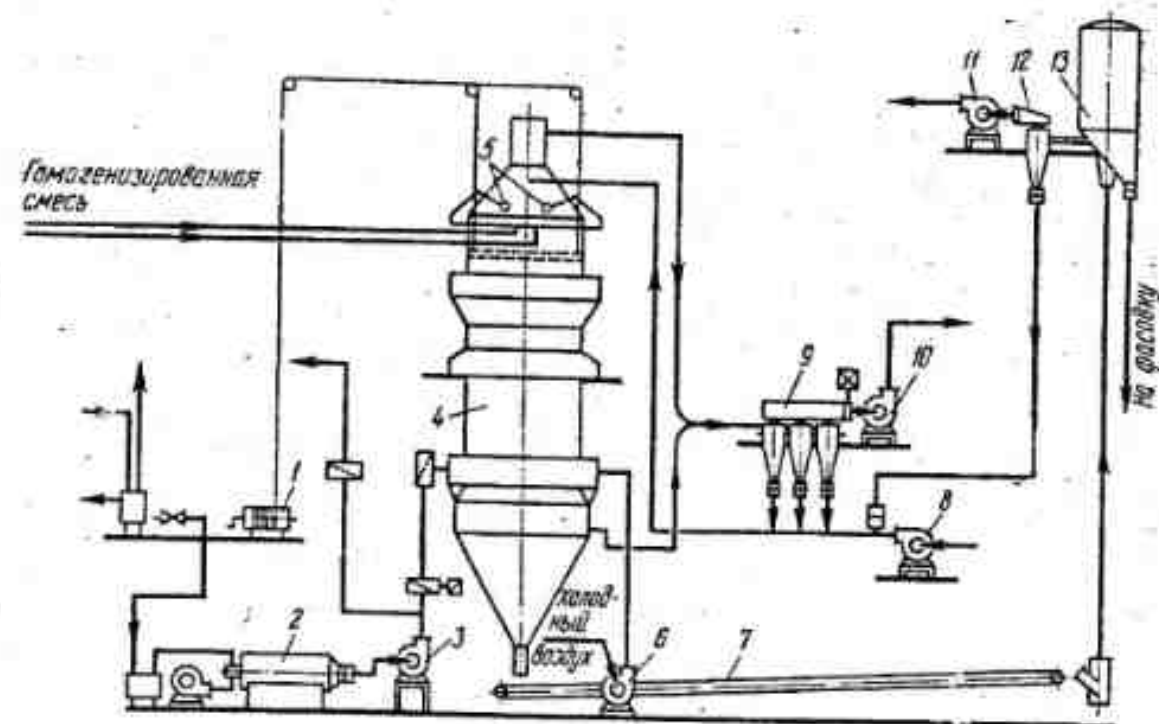


Рис. 14.11. Схема установки «Сабиз» для микрокапсулирования ферментных препаратов:

1 — механизм подъема; 2 — печь для нагревания воздуха; 3 — вентилятор подачи горячего воздуха; 4 — распылительная башня; 5 — распылительные форсунки; 6 — вентилятор подачи холодного воздуха; 7 — конвейер ленточный; 8 — вентилятор для подачи пыли в башню; 9 — система циклонов; 10 — вентилятор; 11 — отсасывающий вентилятор; 12 — циклон; 13 — аппарат для контроля гранулометрического состава.

для охлаждения капсул и отделение от них тонкого порошка и пыли, улавливаемых в системе циклонов. Данная система подачи воздуха применяется для получения капсул со средней плотностью 0,08—0,15 г/л и содержанием влаги 3—8 %.

Противоточную схему подачи воздуха используют в случаях, когда надо получить капсулы такого же размера, но с большей средней плотностью — от 0,15 до 0,45 кг/л при влажности 6—15 %. В этом случае горячий воздух подают в нижний кольцевой распределительный короб башни навстречу частицам, распыляемым форсунками.

Комбинированную систему подачи воздуха применяют для получения капсул с содержанием воды до 20 % и более в кристаллизационном состоянии. При этом в материал вводят соли, удерживающие кристаллизационную влагу. Количество горячего воздуха, подаваемого в верхнюю часть башни, при этом значительно уменьшается, а подача холодного воздуха в нижний кольцевой распределительный короб увеличивается. Смешанный поток горячего и холодного воздуха направляется в средний кольцевой короб, из которого далее поступает в систему циклонов и через конечный вентилятор удаляется наружу в атмосферу. При комбинированной системе подачи воздуха распылительная башня как бы разделяется на верхнюю короткую зону, в которую подает горячий воздух прямооточно с продуктом, и нижнюю длинную зону, в которую подают воздух противоточно и в которой происходит высушивание капсул. В верхней зоне происходят процесс расширения частиц продукта и образование капсул в виде шариков, однако время пребывания частиц в этой зоне недостаточно для полного высушивания продукта. Оставшаяся влага в продукте кристаллизуется в нижней зоне холодным воздухом. В нижней части башни происходит отделение капсул от пыли, которая отсасывается в циклоны и направляется в верхнюю часть башни.

Таким образом, в одной и той же сушильной установке при разном положении заслонок подачи воздуха можно осуществлять разные способы сушки и капсулирования ферментных препаратов с получением капсул различных размера и влажности.

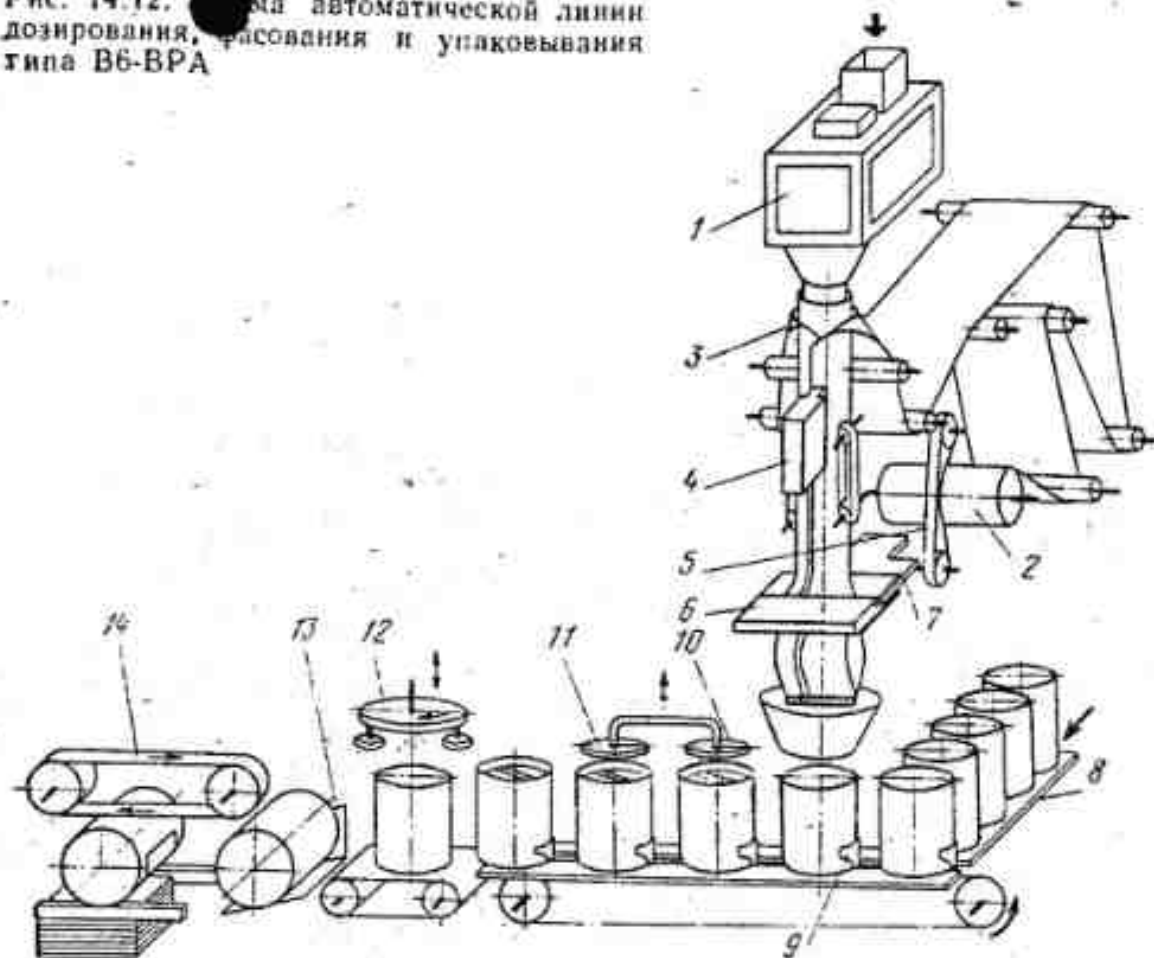
Система управления и контроля параметров процесса автоматизирована. Устройство имеет сигнализацию и блокировку двигателей при возникновении аварийной ситуации.

14.5. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ФИНИШНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Высушенные продукты микробиологических производств фасуют в бумажные и полиэтиленовые пакеты порциями от 0,3 до 16 кг.

В специальном конструкторском бюро М.И.Машлегпищепрома для сыпучих биологически активных препаратов была разработана и изготовлена линия В6-ВРА для дозирования, фасования, транспортирования и укладывания пакетов в жестяные коробки с автоматическим закатыванием крышек и наклеиванием этикеток.

Рис. 14.12. Схема автоматической линии дозирования, фасования и упаковки типа В6-ВРА



В линии предусмотрена возможность изменения размера пакета по высоте от 150 до 300 мм при его постоянном диаметре, равном 242 мм, и дозирования продукта в пределах 0,4—0,5 кг.

Линия предназначена для работы в фасовочном отделении при температуре в помещении от 18 до 30 °С и относительной влажности воздуха до 60 %.

На рис. 14.12 показана схема автоматической линии В6-ВРА. Она состоит из автоматического дозатора продукта 1, механизма подачи пленки 2, рукавообразователя 3, устройства для термосварки продольного шва рукава 4, механизма протягивания рукава 5, устройства термосварки дна и верха пакета 6, механизма отрезки готового пакета 7, переходного мостика для подачи пустых банок 8, устройства для укладки готового пакета в банку 9, механизмов двойного уплотнения пакетов в банках 10, 11, закаточного автомата 12, кантователя банок 13 и этикетировочной машины 14.

Лента полиэтилена с рулона с помощью механизма подачи пленки подается на рукавообразователь; протягивается транспортерами между трубой и рукавообразователем и обволакивает трубу. Так как ширина ленты на 20 мм больше периметра трубы рукавообразователя, то образуется нахлест, необходимый для сварки продольного шва пакета. Для облегчения протягивания пленки по трубе рукавообразователя во время протяжки включается меха-

низм разматывания рулона подающего механизма, что обеспечивает неразрывность пленки.

Далее происходит термосварка швов продольной губкой устройства, которая при сварке прижимает пленку к трубе. Одновременно пакет прижимается двумя губками сваривающего устройства, с помощью которых производится термосварка верха мешка нижнего пакета, и дна верхнего пакета. Одновременно происходит отрезка нижнего пакета от верхнего ножом механизма обрезки. Сварка производится термоимпульсным способом.

Подача продукта из дозатора 1 осуществляется через трубу рукавообразователя в сваренную трубу из полиэтиленовой пленки. После окончания сварки продольная губка отводится от трубы, а поперечные губки разводятся. Сваренная труба с продуктом протягивается вниз тянущими транспортерами механизма протягивания рукава 5 на расстояние, равное длине пакета, после чего происходят сварка пакета, отрезка нижнего заполненного пакета, засыпка продукта для следующего пакета, разведение сваривающих губок. При этом пакет падает через приемную воронку в находящуюся на пульсирующем транспортере устройства укладки металлическую банку.

Подача пустых металлических банок на пульсирующий транспортер с накопительного стола производится способом заталкивания банок через переходной мостик. Так как пакет во время укладки выступает из банки, то в линии предусмотрен механизм двойного последовательного уплотнения пакета в банке.

С пульсирующего транспортера устройства укладки банка с пакетом передается на пластинчатый транспортер закаточного автомата, на котором происходит закатка доньшка банки и передача ее на этикетировочную машину через кантователь банки.

Банка попадает на этикетировочную машину в горизонтальном положении, и далее происходит круговое этикетирование и выдача банки на наклонный лоток этикетировочной машины. Далее банки по конвейеру поступают на склад готовой продукции.

Техническая характеристика линии В6-ВРА

Производительность, пакетов в час	480
Масса дозирования, кг	0,4—0,5
Способ дозирования	Весовой
Точность дозирования, %	±1 от номинальной дозы массы продукта
Установленная мощность электродвигателей, кВт	9,16
Габаритные размеры, мм	6820×2370×3210
Масса, кг	4850

В СКБ Машинлегпищепрома разработан автомат В6-ВФА для дозирования, фасования и упаковки сухих порошкообразных продуктов микробиологического синтеза в четырехслойные склеенные бумажные мешки по 12—14 кг в зависимости от плотности фасуемого продукта. Автомат устанавливается в фасовочных отделениях с температурой в помещении от 18 до 40 °С и относительной

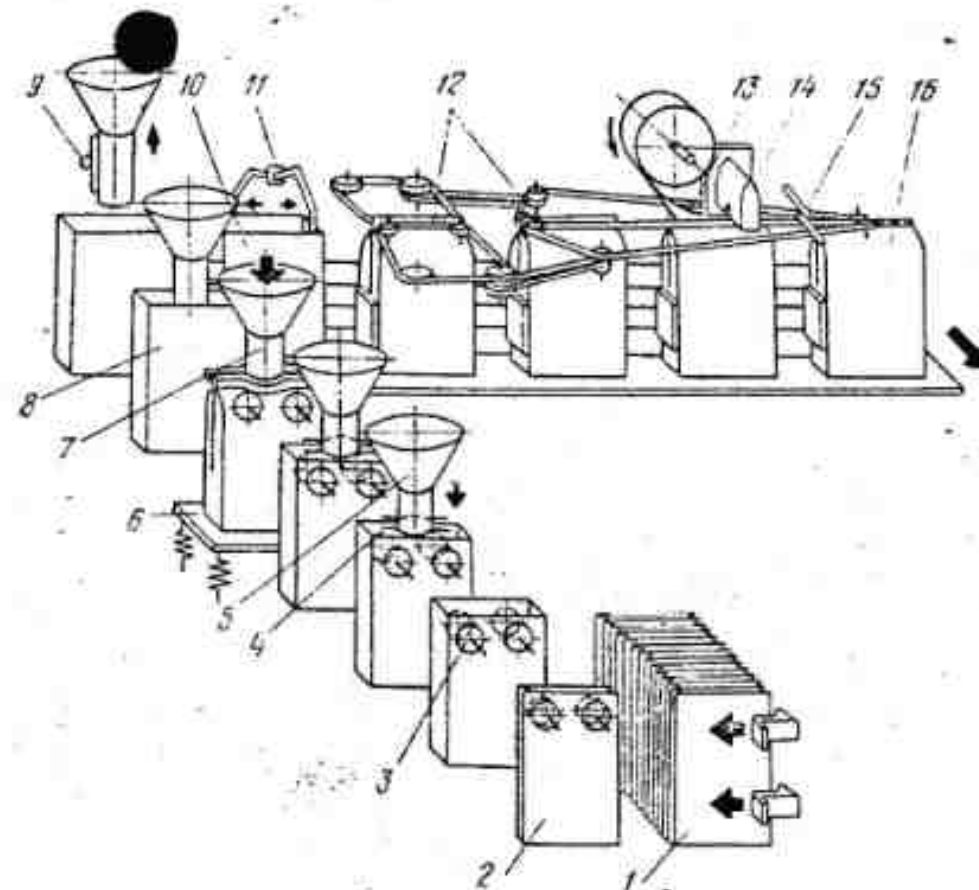


Рис. 14.13. Схема автоматической линии дозирования, фасования и упаковки типа В6-ВФА

влажностью воздуха не более 75 %. Автомат состоит из комплекса механизмов, которые осуществляют ряд последовательных операций, начиная от дозирования и кончая упаковыванием продукта.

На рис. 14.13 показана схема автомата В6-ВФА. Автомат состоит из кассеты для подачи мешков 1, устройства для раскрытия мешков и заполнения продуктом 2, воронки 3 с зажимным устройством мешков 4, устройства для подвешивания мешка, механизма встряхивания мешков 5, механизма для наполнения с подвешенным мешком 6, механизма опускания и поднятия воронки 7, мешкозащитного механизма 8, механизма растяжки мешков 9, механизма зажима верха мешка 10, механизма наложения крепировочной ленты на верх мешка 11, механизма зашивки верха мешка 12, механизма для отрезки ленты и нитки 13 и механизма для отрезки ленты и нитки 14 на транспортер передачи на склад готовой продукции.

Процесс фасования продукта на автомате осуществляется следующим образом. Бумажные мешки загружаются в кассету 1, затем мешок переносится в устройство загрузки продуктом 2. В этом устройстве мешок раскрывается при помощи вакуумных присосок 3, затем в него опускается воронка 5, связанная с дозатором, и мешок прижимается к воронке специальным зажимом 4.

Взвешенный в весовом порционном дозаторе продукт поступает в подвешенный на воронке мешок 7. С помощью встряхивающего

механизма 6, совершающего колебательное движение, продукт в мешке уплотняется. После наполнения мешка продуктом воронка поднимается, мешок перемещается в мешкозашивательный механизм автомата, где происходит растяжка верха мешка, его зажим, наложение крепировочной ленты, зашивка мешка и отрезка ленты и нитки. После выполнения этих операций наполненный продуктом мешок сталкивается с автомата и транспортируется на склад готовой продукции.

Все технологические операции процесса фасования продукции осуществляются рабочими органами автомата, имеющими пневматический или электромеханический приводы.

Техническая характеристика фасовочного автомата В6-ВФА

Производительность, пакетов в час	95—120
Масса дозирования, кг	12—14
Точность дозирования, %	±1
Расход сжатого воздуха, м ³ /ч	12
Глубина вакуума, Па	1,33
Давление сжатого воздуха, МПа	0,4—0,5
Линейная скорость транспортирования, м/с	0,22
Мощность электродвигателей, кВт	12,5
Габаритные размеры, мм	4630×2655×2370
Масса, кг	4928

Глава 15. ОХРАНА ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

При организации любого производства в микробиологической промышленности должны учитываться все элементы труда на всех производственных операциях и в зависимости от того, как объективно они будут учтены, будут зависеть условия труда работающих.

Вопросы, охватывающие охрану труда, технику безопасности, производственную санитарию, трудовое законодательство, разработку мероприятий, обеспечивающих предотвращение производственного травматизма, профессиональных заболеваний, аварий, пожаров и взрывов разработаны в Правилах безопасности для производств микробиологической промышленности, утвержденных Госгортехнадзором 25 марта 1975 г.

Согласно этим правилам проектирование, строительство и реконструкция всех микробиологических предприятий производится в соответствии со строительными нормами и правилами (СНиП).

15.1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОХРАНЫ ТРУДА НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Охрана труда представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособность человека в процессе труда.

Предприятия микробиологической промышленности являются производствами химического и микробиологического профиля. На этих предприятиях при производстве биологически активных препаратов (витаминов, аминокислот, белковых и ферментных препаратов, кормовых дрожжей и др.) широко используются кислоты, щелочи, различные соли, микроорганизмы, которые могут вызвать у работающих аллергические реакции и ряд других заболеваний. Кроме этого некоторые целевые продукты и используемые в производстве вспомогательные вещества пожаро- и взрывоопасны.

Поэтому вопросам охраны труда в микробиологической промышленности уделяется особое внимание.

Правила безопасности для производств микробиологической промышленности состоят из одиннадцати разделов, в которых нашли отражение следующие вопросы.

Общие положения охраны труда. Они включают в себя задачи выявления и изучения производственного травматизма, разработки мероприятий по улучшению условий труда и санитарно-оздоровительных мер, обеспечивающих предотвращение травматизма, про-

фессиональных заболеваний, аварий, пожаров и взрывов на предприятиях.

Большое внимание уделяется повышению качества обучения и инструктажа по технике безопасности рабочих с применением современных средств обучения, обеспечению работающих эффективными средствами индивидуальной защиты с учетом специфики производственных процессов, ответственности как рабочих, так и инженерно-технических и руководящих работников за соблюдение нормативных документов в области охраны труда и пожарной безопасности.

Отопление, вентиляция и освещение. В Правилах безопасности для производств микробиологической промышленности эти вопросы нашли особое отражение. Все производственные помещения микробиологических предприятий должны обеспечиваться отопительными системами, устойчиво поддерживающими необходимую температуру в соответствии с санитарными нормами и требованиями технологических режимов. Системы отопления применяются местные или центральные. В микробиологической промышленности в основном используются центральные системы отопления.

В качестве теплоносителей могут использоваться вода, пар и воздух.

Вентиляция в производстве является важнейшим средством создания нормальных санитарно-гигиенических условий на микробиологических предприятиях. На всех предприятиях предусматривается герметизация работающего оборудования, однако в воздухе производственных помещений микробиологических предприятий все-таки происходит выделение микроорганизмов, продуктов их жизнедеятельности, пылевидных частиц питательных веществ, а также влаги, газов, пара, летучих взрывоопасных и токсических веществ, теплоты. Вентиляция позволяет свести концентрацию этих выделений к минимуму.

Освещение производственных помещений также играет важную роль. При хорошем освещении устраняется напряжение глаз, обеспечивается распознавание окружающих предметов в производственной деятельности работающих.

Недостаток же освещения приводит к перенапряжению и быстрому утомлению зрения, в результате чего повышается нервозность, ослабевает внимание, ухудшается координация движений. Это приводит к снижению производительности и качества труда, увеличивается возможность несчастных случаев, так как рабочий вынужден приближаться к работающему оборудованию.

Обеспечение охраны труда на микробиологических производствах. В этот раздел Правил включены меры по обеспечению безопасной работы в основных технологических процессах, размещению, монтажу и эксплуатации основного технологического оборудования, магистральных коммуникаций и рабочих мест. В этом разделе перечислены мероприятия, обеспечивающие безопасную работу на оборудовании в сырьевом и вспомогательных цехах и участках, кислородной и щелочной станциях, гидролизном отделении,

отделениях приготовления растворов известкового молока, питательных солей и сред, заторов, бродильном отделении, отделениях и цехах сепарирования, центрифугирования, фильтрования, экстракции веществ, отделения сушки, стандартизации фасования и упаковки готовых продуктов биологически активных веществ.

Для организации каждого рабочего места необходимо иметь данные о выделениях вредных веществ, тепловой лучистой энергии, газа, пыли в зоне рабочего места, наличии шума, вибрации; знать габариты оборудования, способы доставки сырья, материалов и полуфабрикатов, расположение энергетических источников, транспортных путей, проездов и проходов, системы обслуживания рабочих мест по функциям и др. С учетом всех опасных факторов для каждого участка производства составляют проект организации рабочего места для создания безопасных условий труда.

На участках с выделением производственных вредностей в проектах организации труда указывают сроки и средства контроля за удельным содержанием вредных веществ, а также их физико-химические и токсикологические свойства.

В Правила включены требования по обеспечению особо важных участков производства и оборудования контрольно-измерительными приборами, средствами автоматизации, производственной сигнализации и связью.

Склады микробиологических предприятий. Предназначенные для хранения сырья, вспомогательных материалов и конечных продуктов склады должны проектироваться с учетом удобства подъезда к ним, безопасности проведения погрузочно-разгрузочных работ и исключения пожаров и взрывов.

На складах легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (метилового и этилового спиртов, ацетона, бензола и бензина) безопасность хранения обеспечивается за счет установки в резервуарах и цистернах дыхательных клапанов и огнепреградителей, а также установки в помещениях оперативных средств защиты от пожара.

С большой осторожностью необходимо осуществлять хранение веществ, вредных для здоровья людей. В первую очередь касается сильнодействующих ядовитых веществ, кислот, щелочей и ряда других веществ.

В Правилах безопасности для производств микробиологической промышленности уделено значительное внимание эксплуатации электротехнического оборудования, противопожарным мероприятиям, средствам индивидуальной защиты, газоспасательной службе.

Ответственность за нарушение правил безопасности, за правильное и своевременное расследование и учет несчастных случаев, а также за выполнение мероприятий, указанных в актах, несут руководители предприятий, главные инженеры, главные специалисты, начальники цехов, мастера и руководители соответствующих производственных подразделений.

15.2. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Техника безопасности — система организационных и технических мероприятий и средств, способствующих устранению влияния на работающих опасного производственного действия факторов, которые могут привести к травматизму.

Все опасные производственные факторы по природе действия на человека подразделяют на физические, химические, биологические и психофизиологические.

К первой группе относят движущиеся машины и механизмы, плохо защищенные подвижные элементы оборудования, передвигающиеся материалы, заготовки, готовые изделия, повышение температуры поверхности оборудования, деталей, материалов, опасный уровень напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, повышенный уровень статического электричества, превышение установленного давления сосудов, работающих под давлением и др.

Вторая группа имеет отношение к токсическим веществам, которые могут вызвать отравление при проникновении в организм человека через дыхательные пути, кожный покров и пищеварительные каналы.

К третьей группе относят биологические вещества — микроорганизмы и некоторые биологически активные продукты.

Четвертая группа объединяет факторы физических и нервно-психических перегрузок. К физическим перегрузкам можно отнести перегрузки статические, динамические и гиподинамические. Нервно-психические нагрузки возникают вследствие умственного перенапряжения, монотонной работы и повышенной эмоциональности.

Все указанные производственные факторы в полной мере касаются предприятий микробиологической промышленности.

Профилактические меры безопасности. Необходимость осуществления профилактических мер на предприятиях микробиологической промышленности связана с большим количеством производственных процессов, происходящих при высоких температурных режимах стерилизации технологического оборудования, трубопроводов и питательных сред, находящихся в аппаратах при избыточном давлении или проходящих в трубопроводах, с применением легко воспламеняющихся жидкостей (спирта, ацетона, бензина и др.), превышение концентрации которых в воздухе может привести к пожару и взрыву.

Взрывоопасные концентрации веществ чаще всего могут образовываться внутри производственных помещений, аппаратов и цистерн. Огнеопасные жидкости, как правило, хранят в изолированных цистернах, чаще всего под землей. Их заполнение и опорожнение должны происходить при строгом соблюдении правил и норм эксплуатации. Особенно следует обращать внимание на содержание образовавшейся взрывоопасной смеси в освобожденных от огне-

опасных жидкостей аппаратах, мерниках, емкостях, так как в них при случайно образовавшемся источнике огня может произойти взрыв. Поэтому все емкостное оборудование должно подвергаться тщательной промывке с последующей проверкой на отсутствие паров.

Не рекомендуется применять сжатый воздух для передавливания из аппарата в аппарат легко воспламеняющихся и горючих жидкостей, так как количественные соотношения воздуха и пара, а также пыли внутри аппарата могут привести к образованию взрывоопасной концентрации газо-, паро- или пылевоздушной смеси. В этом случае для передавливания целесообразно использовать инертный газ. Перекачивание легко воспламеняющихся жидкостей следует производить с помощью бессальниковых мембранных или других насосов, исключающих подтекание. Помещения, в которых установлено оборудование для выделения биологически активных продуктов и ректификации спирта и ацетона, должны быть оборудованы световой и звуковой сигнализацией, заблокированной с вентиляцией, включающейся автоматически от газоанализатора, определяющего опасную концентрацию взрывоопасных веществ в воздухе.

Для предотвращения образования электрических искр и очагов нагрева во взрыво- и пожароопасных помещениях все токоприемники, пусковые электроприборы, средства автоматизации должны быть выполнены в герметичном взрывозащищенном исполнении.

Правилами безопасности на микробиологических предприятиях во взрывоопасных производственных помещениях предусматривается применение воздушного отопления, совмещенного с приточной вентиляцией. В случае использования водяного отопления температура теплоносителя не должна превышать 95 °С. В помещениях и складах для хранения жидких горючих веществ, где возможно выделение токсичных вредностей, кроме постоянно действующей вентиляции необходимо устройство аварийной вентиляции с восьмикратным объемом воздуха.

Производственные сточные воды микробиологических производств до сброса в канализацию должны подвергаться нейтрализации, очищаться от масел, смол и других вредных соединений на очистных сооружениях.

Монтажные работы световых устройств и электроустановок должны производиться в соответствии с Правилами устройства электроустановок для каждого отделения с учетом категории помещений.

Следует предпринимать профилактические меры предосторожности при работе деталей, которые могут нагреваться в результате трения (например, приводы мешалок, шестерни, подшипники валов и т. п.). Их необходимо изготавливать из неискрящихся материалов (алюминий, медь, пластмассы).

Железные лестницы целесообразно защищать резиновыми ковриками.

На кранах запорной арматуры необходимо наглухо устанавливать накидные стальные ключи, подвергнутые предварительно горячей оцинковке.

На микробиологических производствах особое внимание надо обращать на отвод зарядов статического электричества, которые могут привести к воспламенению взрывоопасных смесей при транспортировании огне- и взрывоопасных жидкостей и газов по незаземленным трубам, при сливе и наливке жидкостей из цистерн и аппаратов; при продвижении пылевоздушных смесей в трубопроводах пневмотранспорта и аппаратах для сушки, измельчения, просеивания; при выходе под давлением из форсунок и сопел тонкораспыленных жидкостей. Надо помнить, что чем выше скорость движения жидкости и газов по трубам, чем больше величина заряда, поэтому следует строго придерживаться норм ограничения скорости транспортирования газов и жидкостей.

Наиболее распространенным способом защиты от статического электричества является заземление аппаратов, трубопроводов, цистерн, сливных и наливных устройств, а также бункеров, мерников, циклонов, сушилок, пыле- и воздухопроводов, в которых могут накапливаться высокие потенциалы зарядов.

Безопасность работы в производстве биологически активных веществ. Основным условием обеспечения безопасности работ является строгое соблюдение технологического регламента проведения всех операций. В регламент включаются только практически проверенные способы, обеспечивающие максимальную безопасность работы на конкретном оборудовании данного производства при соблюдении правил работы с опасными веществами и условий проведения процессов, исключающих возможность взрыва, отравления, пожара, травм. Для удобного обслуживания оборудования помещения должны быть светлыми и просторными с шириной проходов по фронту оборудования не менее 2 м, для обслуживания оборудования и приборов, требующих периодических проверки и осмотра, — 0,8 м. Расстановку технологического оборудования рекомендуется производить вдоль наружных стен с оконными проемами. Исходя из гигиенических соображений, стены следует покрывать облицовочной плиткой; полы должны быть гладкими водонепроницаемыми с уклоном в сторону трапов.

Все аппараты и трубопроводы для уменьшения тепловыделения и избежания ожогов должны быть покрыты слоем теплоизоляции, температура поверхности теплоизоляции на рабочих местах не должна превышать 45 °С.

Не рекомендуется производить прокладку трубопроводов для легколетучих и взрывоопасных жидкостей совместно с тепловодами и трубопроводами сжатых газов.

Для безопасности предусмотрено сплошное окрашивание трубопроводов в опознавательные цвета по группам транспортируемых веществ: вода — зеленый, пар — красный, воздух — синий, газы (в том числе сжиженные) — желтый, кислоты — оранжевый, щелочи — фиолетовый, жидкости — коричневый, прочие вещества (питатель-

ные среды, культуральные жидкости, ферментные растворы и др.) — серый, противопожарные трубы — красный.

Предприятия микробиологических производств оснащены большим количеством разнотипного оборудования, применяемого в химической, пищевой промышленности, а также значительным количеством нестандартного оборудования, изготовляемого непосредственно на предприятии. В связи с этим необходимы тщательный инструктаж обслуживающего персонала, подробное изучение конструкции и принципа действия оборудования, технологии и правил техники безопасности ведения работ.

Инструкции по технике безопасности разрабатываются индивидуально для каждого вида оборудования и должны быть вывешены у рабочих мест.

Сосуды, работающие под давлением. На предприятиях микробиологической промышленности широко используются сосуды, работающие под давлением.

Это технологические реакторы, стерилизаторы, инокуляторы, ферментаторы, выпарные установки, вакуум-выпарные аппараты, автоклавы, аппараты для ректификации, экстракции и др., а также энергетическое оборудование (теплообменники, аппараты холодильных установок, воздушных компрессорных установок и др.).

Сосуды, работающие под давлением, представляют собой герметически закрытую емкость или аппарат, предназначенный для проведения химических и тепловых процессов, хранения и перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением. Так как сосуды, работающие под давлением, относятся к оборудованию с повышенной опасностью, их конструирование, изготовление и эксплуатация должны происходить при строгом соблюдении требований техники безопасности.

В зависимости от величины рабочего давления все сосуды подразделяют на две группы. В первую группу входят сосуды, работающие под давлением более 0,07 МПа (без учета гидростатического давления), на которые распространяются Правила устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Ко второй группе относятся сосуды, работающие под давлением до 0,07 МПа. Правила техники безопасности для них разрабатываются в виде отраслевых правил по технике безопасности и производственной санитарии.

Каждый сосуд, предназначенный для работы под давлением, должен иметь паспорт, в который вносятся: название завода-изготовителя, дата изготовления, величины расчетного и предельного давлений и другие данные.

К эксплуатации оборудования, работающего под давлением, допускаются лица, обученные приемам работы и прошедшие инструктаж по правилам техники безопасности.

В воздухе, удаляемом из аппаратов для выращивания посевного материала (инокуляторы), производственного культивирования микроорганизмов (ферментаторы) и др. содержится значительное ко-

личество микроорганизмов и вредных веществ, поэтому перед выбросом в атмосферу его необходимо очищать.

Компрессорные станции. Компрессоры обычно размещают в отдельно стоящих одноэтажных зданиях, спроектированных в соответствии с требованиями СНиП «Противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест» и «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий».

Температура воздуха после каждой ступени сжатия в нагнетательных патрубках не должна превышать 180 °С. Установки, имеющие производительность более 10 м³/мин, оборудуются концевыми холодильниками и влагоотделителями.

Воздушные компрессоры производительностью до 10 м³/мин с давлением до 0,8 МПа с разрешения технической инспекции можно устанавливать в нижних этажах многоэтажных зданий, но не под бытовыми, конторскими и подобными помещениями. В этом случае они должны быть надежно отделены от производственных участков глухими огнестойкими стенками. Компрессоры производительностью не более 20 м³/мин отделяются от смежных помещений перегородками высотой не менее 3 м и толщиной не менее 12 см.

При каждой компрессорной станции необходимо предусматривать специальные места для хранения в закрытом виде обтирочных материалов, инструмента и т. п. Категорически запрещается хранить в помещении компрессорной станции керосин, бензин и другие легковоспламеняющиеся и горючие материалы. Доступ посторонним лицам в помещение компрессорной станции воспрещен.

Перекрытия помещений компрессорных станций должны быть бесчердачными и легкобрасываемыми. Площадь окон, дверей, световых фонарей или легкобрасываемых панелей должна быть 0,05 м² на 1 м² помещения компрессорных станций. Каждый компрессор оборудуется системой аварийной защиты, обеспечивающей звуковую и световую сигнализацию при прекращении подачи охлаждающей воды, повышении температуры сжимаемого газа выше допустимой и автоматическую остановку компрессора при понижении давления масла. Корпуса компрессора, холодильника, масло- и влагоотделителя должны быть заземлены. Компрессоры производительностью более 50 м³/мин должны быть дополнительно оборудованы устройствами для автоматического регулирования давления нагнетания.

Предохранительные клапаны должны отвечать требованиям Правил устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением, и должны ежегодно проверяться под давлением до 1,2 МПа.

Для смазки компрессоров применяют смазочные масла, соответствующие требованиям ГОСТа и инструкции завода-изготовителя. Компрессор подлежит немедленной остановке при повышении давления на любой ступени выше допустимого, понижении давления масла в системе смазки ниже допустимого, неисправности си-

стемы охлаждения, наличии стуков, при заметном увеличении вибрации.

К обслуживанию компрессорных установок допускаются люди не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование и имеющие удостоверение на право обслуживания компрессорной установки.

Фильтры для очистки и улавливания газов и пыли. Особую опасность на предприятиях микробиологической промышленности представляет воздух заводских помещений, загрязненный вредными промышленными выбросами, который подлежит удалению из складских помещений, цехов приготовления питательных сред из сухих компонентов, отделений выделения и экстракции (частицы культуры продуцента, пары органических растворителей), отделений сушки, фасовки, стандартизации и хранения готовых препаратов (мельчайшие частицы в виде пыли порошкообразных препаратов, споры, конидии грибов и др.).

Помещения, в которых сосредоточиваются инокуляторы, ферментаторы, сушилки, дробилки и другие аппараты, от которых происходит загрязнение воздуха, подвергаются герметизации.

Для очистки воздуха от промышленных загрязнений применяют газопылеулавливающие установки. Установки для очистки газов легковоспламеняющихся или взрывоопасных веществ оснащают в соответствии с правилами пожарной безопасности. Количество и производительность газопылеулавливающих установок определяются с учетом обеспечения непрерывной очистки газов и пыли в течение всего периода работы основного оборудования. Выброс отходящих газов в атмосферу запрещен.

При обнаружении неисправностей газопылеулавливающих установок или нарушении их работы необходимо остановить их для ремонта.

Аварийным считают такой режим установки, когда она работает с отклонением параметров очищаемого воздуха по объему, температуре, давлению, запыленности, химическому составу, влажности, физико-химическому составу и дисперсности, превышающим установленный в производственной инструкции предел; кроме того, при нарушении выгрузки уловленного продукта, режима стряхивания, смыва или обдува рукавов, выходе из строя насадок, обрыве рукавного фильтра, износе, повреждении и потере фильтрующей способности фильтров.

При использовании мокрой системы очистки газов аварийными состояниями считаются нарушение подачи воды, неравномерное распределение ее по объему фильтра, повышенное содержание твердых взвесей и забивание фильтрующего слоя сорбентом.

Газопылеулавливающие установки оснащаются автоматическими приборами контроля (дифманометрами для измерения гидравлического сопротивления, пробоотборниками для автоматического определения запыленности с сигнализирующими устройствами и манометрами для измерения давления воды, поднимемой в мокрые пылеулавливатели).

Все газопылеулавливающие установки должны быть заземлены.

Центрифуги и сепараторы. Монтаж центрифуг (сепараторов) должен проводиться с учетом обеспечения условий для удобства и безопасности обслуживания, свободного доступа к тем частям машин, которые подвергаются периодическому осмотру, замене деталей и чистке. Трубопроводы обвязки, маслопроводы и электрокабели размещаются удобно для обслуживания. Крышки центрифуг (сепараторов) снабжены блокировкой, исключающей возможность пуска машин при неполностью закрепленной крышке и открывания крышки при неполной остановке машины.

Главный вал центрифуг (сепараторов) должен быть соединен с приводом через муфту или клиноременную передачу с электропроводящими ремнями, удельное сопротивление которых не превышает 10^5 Ом·см. Для обеспечения поверхностной проводимости ремней используют токопроводящие смазки, состоящие из глицерина и сажи в соотношении 100 : 40. Смазка ремней воском или канифолью не допускается. Для снятия статического электричества центрифуги и сепараторы заземляют устройствами с сопротивлением не более 4 Ом.

При центрифугировании внутренняя полость кожуха должна быть изолирована от среды и в ней должен находиться инертный газ под давлением не менее 0,09 кПа и не более 9,6 кПа.

При работе центрифуги (сепаратора) необходимо осуществлять постоянный контроль за частотой вращения и равномерной загрузкой барабана, техническим состоянием и смазкой подшипников. При неравномерной загрузке барабана возникает «биение», что может привести к разрыву стенок центрифуги или сепаратора. Неисправность машин может привести к серьезной аварии, поэтому при обнаружении малейших отклонений от нормальной работы машины надо немедленно остановить и устранить все замеченные неполадки. Нормальная работа центрифуг (сепараторов) зависит от равномерности и степени загрузки барабана обрабатываемым продуктом. Нормальная загрузка барабана составляет 50—60 %.

Нарушение балансировки ротора, посторонний шум, излишняя вибрация, появление течи в уплотнениях недопустимы. Нельзя включать сепаратор, если в барабане находится жидкость. Подача жидкости производится только тогда, когда барабан достигнет номинальной частоты вращения.

Разборку коммуникаций и барабана можно начинать только после полной остановки машины.

Сушилки, грануляторы, дробилки. В микробиологической промышленности применяется большое количество сушилок различных конструкций. В качестве примера рассмотрим обслуживание вихревых сушилок, работающих в линии с грануляторами и дробилками.

В процессе сушки, гранулирования и дробления выделяется значительное количество тончайших частиц порошка, которые создают с воздухом огне- и взрывоопасные смеси. Пыль в присутствии даже незначительных количеств воспламеняющихся паров или га-

зов или при случайном возникновении искры может загореться и вызвать взрыв. Принятие профилактических мер для устранения опасности воспламенения имеет важное значение. Так, внутри сушилки и воздушных каналов исключается установка электрооборудования. В случае крайней необходимости устанавливается электрооборудование во взрывозащищенном исполнении.

Недопустимы перегрев, излишнее трение и искрообразование в опорах вала и крыльчатке вентилятора.

Обогрев сушилок рекомендуется производить паром или горячей водой.

При прекращении работы вентилятора нагревание сушилки должно автоматически отключиться, при этом вентилятор должен некоторое время продолжать работать, чтобы отвести аккумулярованное тепло.

Сушильные аппараты, грануляторы, дробилки, в которых происходит трение перерабатываемых материалов с поверхностью узлов и деталей аппаратов, являются своеобразными генераторами статического электричества. Для защиты от скопления зарядов все металлические узлы аппаратов следует тщательно заземлять. Наибольшее скопление зарядов происходит в незаземленных металлических деталях фильтров. Если ту или иную металлическую деталь невозможно заземлить, то ее следует заменить деталью из электроизоляционного материала.

Во избежание взрыва и разрыва стенок применяют устройства мгновенного выравнивания давления. При выравнивании давления статическое давление взрывного клапана не должно превышать 9,6 кПа.

Вихревые сушилки, работающие совместно с установкой с псевдоожженным слоем, имеют выведенный наружу самостоятельный продувочный трубопровод длиной не более 2,5 м.

Агрегат должен иметь прочные закрепленные опоры для восприятия реактивных нагрузок в случае взрыва.

Дробилки. Ударно-центробежные дробилки устанавливают в отдельных помещениях так, чтобы вокруг них был свободный проход шириной не менее 1,5 м. Загрузку и выгрузку дробилок рекомендуется механизировать, а во избежание выделения пыли их необходимо надежно герметизировать.

Все дробилки оборудуются аспирационными установками, которые включают перед пуском, а выключают после остановки дробилки. Перед началом дробления продукта работа дробилки проверяется на холостом ходу.

Вращение дисков дробилки со скоростью, превышающей паспортную, запрещено. Дробилки должны быть надежно заземлены.

Меры безопасности при использовании механических транспортных устройств непрерывного действия (конвейеров). Основными требованиями безопасности эксплуатации конвейеров является сплошное ограждение всех вращающихся и движущихся частей (передающие механизмы, редукторы, муфты, шкивы, барабаны) сетками.

Ограждения должны быть установлены так, чтобы была возможность производить осмотр и смазку всех трущихся узлов и деталей без снятия сеток. Конвейеры оборудуют аварийными выключателями с кнопкой «Стоп» в случаях немедленной остановки. Эти кнопки устанавливают вдоль конвейера на расстоянии не более 10 м одна от другой в доступных местах. Пусковые устройства конвейеров имеют звуковую и световую сигнализацию.

Для безопасного перехода через конвейеры устанавливают переходные мостики с перилами.

Наклонные ленточные конвейеры оборудуют специальными тормозными устройствами, исключающими возможность их движения вниз под тяжестью собственного веса или находящегося на них груза.

Конвейеры, расположенные на высоте от 0,5 до 2 м, должны иметь ограждения во всех доступных местах. Наиболее безопасная скорость движения конвейеров не более 0,2 м/с. При эксплуатации необходимо следить за исправностью вращающихся деталей и смазкой трущихся деталей.

Элеваторы, применяемые для перемещения сыпучих материалов в вертикальном направлении или под небольшим углом, должны иметь сплошной герметический кожух со смотровыми окнами, которые во время работы элеватора во избежание утечки пыли плотно закрываются. У мест загрузки и выгрузки устанавливается местная аспирация. Пусковые устройства оборудованы специальной сигнализацией. Конструирование и монтаж конвейеров и элеваторов должны осуществляться в соответствии с требованиями стандарта.

Шнеки. Для безопасной работы шнековых конвейеров все приводные механизмы (шестерни, редукторы, ременные передачи) должны иметь ограждения. Не допускается работа шнеков при снятых крышках. Запрещено производить ремонт во время работы шнекового конвейера, открывать люк или проталкивать вручную застрявший в желобе материал.

Пневмотранспорт. При эксплуатации пневмотранспортных установок могут образовываться смеси органической пыли с воздухом, образующиеся в бункерах и трубопроводах, что представляет опасность взрыва.

Для различных смесей установлены пределы допустимой концентрации, которые необходимо соблюдать.

При движении сыпучих органических материалов (соевой муки, жома, отрубей и др.) по трубопроводам вследствие их трения о стенки возникает статическое электричество, которое следует своевременно отводить, в противном случае будет накапливаться заряд, который может вызвать искру и взрыв.

Для снятия заряда необходимо все металлические части пневмотранспорта, бункерного отделения, трубопроводов с материалом, воздушники и компрессоры тщательно заземлять. Перекидные транспортные устройства заземляют с помощью резиновых шлангов в металлической оплетке.

Техника безопасности при культивировании продуцентов на твердых средах. На некоторых предприятиях при выращивании культур грибов и бактерий на твердых сыпучих средах все еще применяются кюветы. Такой способ производства сопровождается значительным загрязнением воздуха органической пылью, образующейся из компонентов питательной среды, полупродуктов и готовой продукции, конидиями и спорами продуцентов ферментов.

При немеханизированном производстве значительное количество микроорганизмов, их конидий и спор выделяется в воздух производственных помещений при подготовке посевной культуры, ее засева в производственную среду, выращивании в растительных камерах, транспортировании, выгрузке, измельчении, сушке и фасовке. При отсутствии герметизирующих устройств и недостаточном воздухообмене и аспирации содержание пыли достигает 100—150 мг в 1 м³ воздуха, что может привести к возникновению взрыва и пожара.

Все это оказывает вредное влияние на здоровье рабочих.

Микроорганизмы, используемые в качестве продуцентов, хотя и не являются патогенными, способны вызывать различные аллергические реакции.

Содержание конидий в воздухе в количестве 20 000 на 1 м³ может вызвать у работников заболевание слизистой, кожного покрова и внутренних органов. В связи с этим необходимо осуществлять комплекс технических и санитарных мероприятий, обеспечивающих полную безопасность работы. Выращивание посевной культуры должно быть механизировано и проводиться в герметически закрытом оборудовании в стерильных условиях.

Обеспечение посевной культурой микробиологических заводов должно быть централизовано, что позволит ликвидировать отделения чистой культуры на небольших предприятиях. Процессы выращивания производственной культуры необходимо механизировать и проводить в герметизированных установках в стерильных условиях с применением методов сменной аэрации. Эти мероприятия позволят исключить пылевыведение и загрязнение производственных помещений конидиями.

В производственных помещениях необходимо вести постоянный контроль за состоянием воздушной среды, за исправностью герметизирующих устройств оборудования, коммуникаций, транспортных средств, систем вентиляции и аспирации.

В табл. 15.1 приведены данные о токсичности некоторых применяемых в ферментных производствах веществ, а также их пожаро-взрывоопасные характеристики.

Таблица 15.1. Характеристика токсичных и взрывоопасных свойств материалов, сырья, полупродуктов и продуктов ферментного производства

Наименование вещества	Температура, °C		Пределы взрываемости насыщенных паров в воздухе*		Предельно допустимая концентрация в воздухе производственных помещений, мг/м³
	испытки	самовоспламенение	температурные, °C	концентрационные, %	
Амилосубилин ГЗх и П10х	—	200	—	250**	—
Аммиак	2	650	—	15—28	20
Ацетон	—18	465	—20—+6	2,2—13	—
Едкий натр	—	—	—	—	6
Известь негашеная (концентрация пыли в воздухе 30 мг/м³ опасна)	—	—	—	—	—
Изопропиловый спирт	14	400	8—37	2—12	3
Крахмал	—	625	—	40**	—
Ксиланаморин -ГЗх и Г10х	—	200	—	250**	—
Культура гриба влажная	—	—	—	60—80**	—
высушенная	—	—	—	60—65**	—
Лактоза	—	520	—	15**	—
Пектаваморин ГЗх и Г10х	—	200	—	250**	—
Протосубилин ГЗх и Г10х	—	200	—	250**	—
Пшеничные отруби	—	750	—	17,6—22,7**	—
Свекловичный жом	—	—	—	250**	—
сахар	—	525	—	8,9** (размер частиц 74 м)	—
Серная кислота	—	—	—	—	1
Сода кальцинированная	—	—	—	—	6
Солодовые ростки экстрагированные	—	—	—	60—65**	—
Соляная кислота	—	—	—	—	5
Уксусная кислота	38	654	35—76	3,3—22	5
Фенол	75	595	48—83	0,3—2,34	5
Формалин	67	435	62—80	—	0,5 (по формальдегиду)
Этиловый спирт	13	404	11—41	19—5	1000

* Интервал значений показывает верхний и нижний пределы.

** Указан нижний предел взрываемости, г/м³.

15.3. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Охрана природы и рациональное использование природных ресурсов в условиях интенсивного использования их являются одними из важнейших экономических и социальных задач нашего государства.

Получение биологически активных препаратов связано с применением в производстве различных микроорганизмов. Анализ отходов многих микробиологических предприятий свидетельствует о том, что воздушные и водные выбросы в окружающую среду необходимо подвергать тщательной очистке от микроорганизмов — продуцентов микробиологического синтеза.

Система охраны окружающей среды включает установки по очистке воздушных выбросов, сточных и промывных вод.

Очистка воздушных выбросов. На многих предприятиях микробиологической промышленности выбросы в атмосферу загрязнены клетками микроорганизмов, пылью белковых и других продуктов микробного синтеза, образующихся на стадиях ферментации, флотации, сушки, гранулирования, стандартизации, упаковки, погрузки на транспортные средства, а также пылью питательных солей и сырья (муки, отрубей, опилок и др.).

Основными мерами предотвращения загрязнения атмосферы являются герметизация производственных аппаратов (ферментаторов, флотаторов, сушилок и др.), а также применение различных типов одиночных и батарейных циклонов, гидроциклонов, пылесосаочных камер, тканевых и электрических фильтров, скрубберов.

Для снижения запыленности промышленных выбросов в атмосферу белковыми и другими продуктами микробного синтеза после их сушки, упаковки и погрузки на транспорт используют скруббер Вентури (рис. 15.1). Он состоит из трубы Вентури 3, предназначенной для коагуляции мелких твердых частиц, инерционного аппарата 4 и центробежных скрубберов 3, в которых укрупненные частички и капли жидкости отделяются от газов.

Удаляемый из производственных аппаратов воздух подается вентилятором 1 в трубу Вентури 3, где смешивается с водой. Частицы пыли с каплями воды и газа поступают в инерционный аппарат 4 для отделения газа от жидкости. Из инерционного аппарата смесь газа, частиц воды и укрупненных частиц продукта устремляется в центробежные скрубберы 2, где окончательно происходит отделение газа от частиц воды и вещества. Газ устремляется вверх, вода с частицами вещества стекает вниз в сборник 5, многократно с помощью насоса 6 используется для орошения трубы Вентури, после чего поступает на производство для утилизации уловленных частиц вещества.

В промышленности широко применяются для очистки технологических и вентиляционных выбросов от вредных газов и паров адсорберы и абсорберы. В адсорберах очищаемый поток проходит через слой адсорбента, который представляет собой зернистое вещество с развитой поверхностью (активный уголь, силикагель,

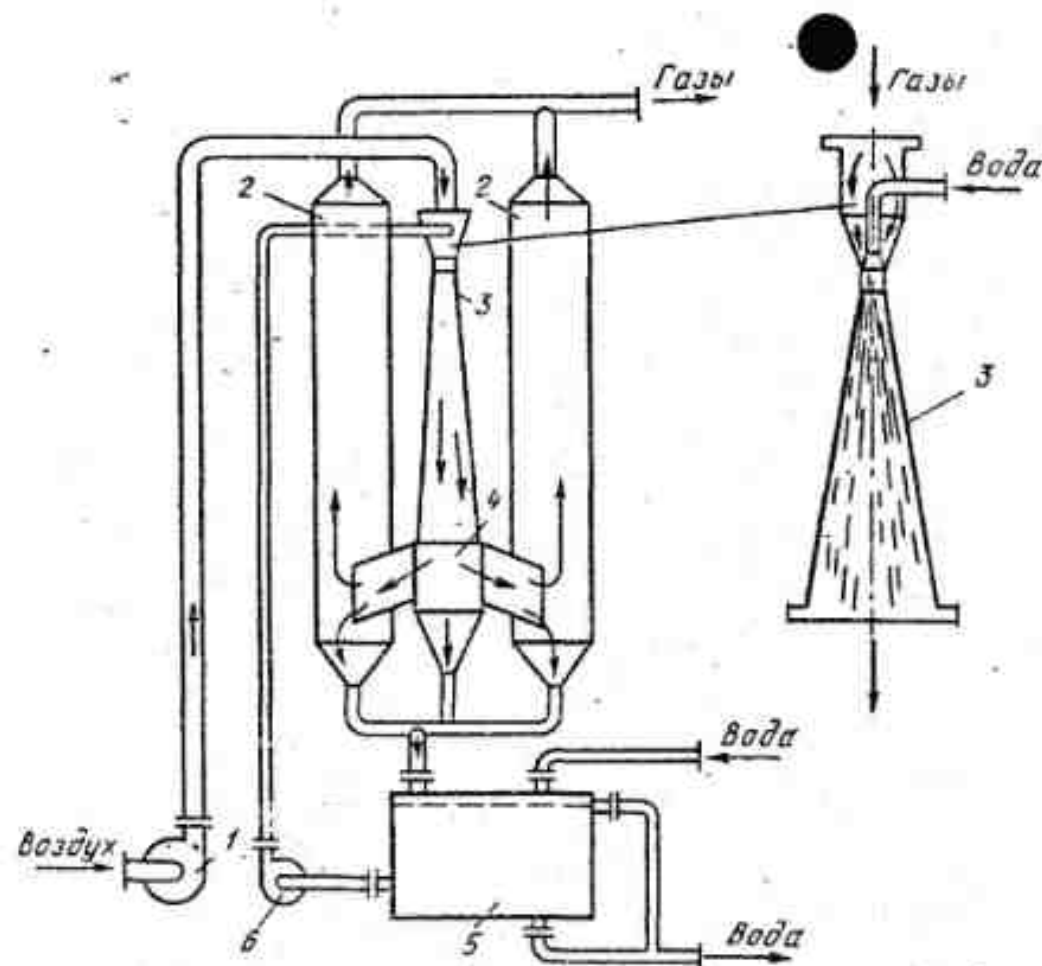


Рис. 15.1. Скруббер Вентури

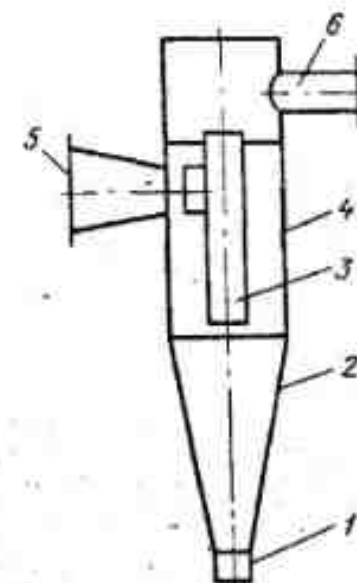
окись алюминия и др. На поверхности зерен происходят их осаждение и связывание. В абсорберах для очистки газов применяют обычно жидкие вещества (вода, растворы солей), интенсивно поглощающие вредные вещества (газы, пары), всем объемом. Отходящие технологические газы могут сжигаться в виде факела.

На предприятиях ферментной промышленности, где процесс выращивания культур грибов и бактерий осуществляется в кюветах на твердых сыпучих средах, наблюдается сильное загрязнение воздуха органической пылью, образующейся из компонентов питательной среды, полупродуктов и готовой продукции, конидиями грибов, что отрицательно влияет на здоровье рабочих, вызывая различные аллергические заболевания. Кроме того, при накоплении органической пыли свыше $8-10 \text{ г/м}^3$ создается опасность взрыва.

В связи с этим аппараты для выращивания посевной культуры необходимо герметизировать и механизировать. Однако наибольшего повышения чистоты выбросов можно достичь, переходя на глубинный способ культивирования микроорганизмов.

Очистка сточных вод. Технологический процесс получения продуктов микробиологического синтеза связан с потреблением большого количества воды, которая загрязняется вредными микроорганизмами, минеральными солями и органическими компонентами. Вещества могут находиться в растворенном и нерастворенном со-

Рис. 15.2. Схема гидроциклона



стоянии. Способы очистки промышленных сточных вод выбираются, исходя из состава сбрасываемых загрязненных стоков. Состав стоков сложен и в настоящее время еще полностью не изучен.

Загрязненность сточных вод оценивается обычно двумя показателями: химическим потреблением кислорода (ХПК), количеством кислорода (мг), достаточным для полного химического окисления всех загрязнений, находящихся в 1 л стоков, и биологическим потреблением кислорода (БПК) — количеством кислорода (мг), которое потребляют микроорганизмы на окисление органических веществ в 1 л сточных вод. Величина потребления кислорода в течение 5 сут обозначают БПК₅.

В промышленных условиях применяют несколько способов очистки стоков.

Механическая очистка. Для удаления из сточных вод нерастворенных и грубодисперсных загрязнений, отделение крупного мусора, камней, кусков древесины, а также частиц песка, земли и др. используют решетки, сита, песколовки и гидроциклоны. Отделение мелких частиц осуществляют в отстойниках. Для более тщательной очистки сточные воды пропускают через песочные и сетчатые фильтры.

Гидроциклоны. В микробиологической промышленности для осветления питательных солей и сред, нейтрализатов, а также механической очистки сточных вод широко применяются гидроциклоны. Гидроциклоны (рис. 15.2) просты по устройству, компактны, занимают меньшую производственную площадь, чем фильтры и отстойники, удобны в обслуживании, сравнительно дешевы. К недостаткам гидроциклонов можно отнести быстрый износ стенок аппарата и повышенный расход электроэнергии.

Корпус гидроциклона состоит из цилиндрической 4 и конической 2 частей. Разделяемая суспензия тангенциально под давлением 0,2 МПа через патрубок 5 подается в цилиндрическую часть аппарата. На входе она приобретает винтообразное движение, в результате чего возникает значительная центробежная сила. В результате разности сил тяжести твердой и жидкой фаз и действия центробежных сил твердые частицы отбрасываются к стенкам гидроциклона и, двигаясь по спиральной траектории конической части, опускаются вниз, откуда через нижнюю спускную насадку 1 выводятся в приемник с некоторым количеством жидкой фазы. Большая часть осветленной жидкой фазы движется по спирали вблизи оси гидроциклона вверх, направляясь к сливному патрубку 3, через который попадает в выходной патрубок 6 и выводится из

гидроциклона. Эффект разделения гидроциклона зависит от размера твердых частиц, давления суспензии на выходе, отношения диаметров патрубка для вывода осадка к диаметру трубы для слива осветленной жидкости (оно равно 0,37—0,4), высоты цилиндра, физико-механических свойств исходной суспензии, содержания твердой фазы и др.

Производительность гидроциклона ($\text{м}^3/\text{с}$)

$$P = K D d_n \sqrt{\Delta p},$$

где K — общий коэффициент расхода (при диаметре гидроциклона 125—600 мм и конусности 38° $K = 2,8 \cdot 10^{-9}$); D — диаметр гидроциклона, м; $d_n = (0,16 + 0,2)D$ — диаметр нижнего патрубка спускной насадки, м; Δp — перепад давления, равный разности давлений в питающем патрубке и в верхнем выходном патрубке, м.

Мощность (кВт), потребляемая гидроциклоном,

$$N = P \Delta p_r / (1000 \eta),$$

где P — производительность гидроциклона, $\text{м}^3/\text{с}$; ρ_c — плотность исходной суспензии, $\text{кг}/\text{м}^3$; Δp_r — перепад давления в гидроциклоне, Па; η — КПД гидроциклона.

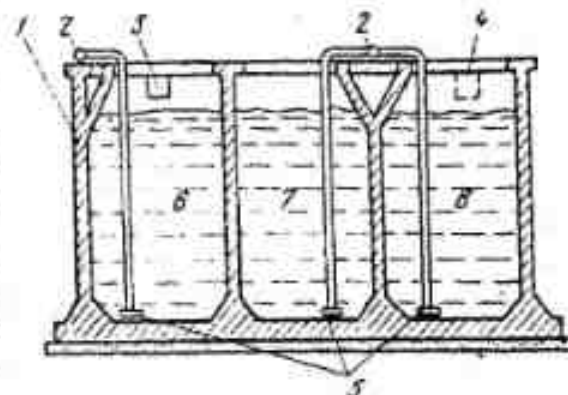
Химическая очистка. К химическим относятся методы выделения загрязнений путем химического связывания веществ — загрязнителей реагентами, в результате чего загрязнение, переходя в новые соединения, выпадают в осадок или выделяются в виде газов.

Физико-химическая очистка. К физико-химическим относятся процессы коагуляции, флокуляции, сорбции, флотации и др. Коагуляция применяется при осаждении тонкодисперсных примесей. В качестве коагулятора часто используется сульфит алюминия. Флокуляция используется для интенсификации процесса коагуляции и осаждения взвешенных частиц за счет воздействия органических и синтетических реагентов (например, бензола и др.). Для проведения биокоагуляции и флокуляции взвешенных органических веществ в сточных водах используют преаэраторы — аппараты, в которых процесс биокоагуляции и флотации происходит за счет подачи активного ила и воздуха. Аппарат представляет собой прямоугольный резервуар, его вместимость зависит от количества поступающих сточных вод и времени их пребывания. Продолжительность пребывания сточных вод в преаэраторе при интенсивной подаче воздуха колеблется от 10 до 20 мин. Использование преаэраторов снижает количество органических веществ в сточных водах до 15 %.

В процессах сорбции частички оседают на поверхности специальных веществ — сорбентов (например, активных углей). В основе процессов флотации лежит способность загрязняющих дисперсных частиц вместе с пузырьками насыщающего воздуха подниматься на поверхность в виде пены.

Биологическая очистка. Биологическая очистка основана на способности микроорганизмов утилизировать находящиеся в сточных водах органические вещества в качестве источника

Рис. 15.3. Двухсекционный трехкоридорный аэротенк



углерода. Помимо источника углерода для жизнедеятельности микроорганизмов необходимо наличие азота, фосфора, калия, поэтому при отсутствии этих элементов их вводят в виде растворов минеральных солей. Биохимическую очистку проводят либо в условиях, близких к естественным (поля орошения, поля фильтрации, биологические пруды, бассейны), либо в искусственных (аэротенки, окислительные каналы с механическим орошением, биологические фильтры и т. п.).

Аэротенки нашли широкое применение в промышленности для биологической очистки сточных вод. Аэротенк (рис. 15.3) представляет собой железобетонный двухсекционный трехкоридорный резервуар 1 прямоугольной формы глубиной 3—6 м с продольными перегородками, не доходящими до торца, что позволяет сточной воде перемещаться последовательно в коридорах 6, 7 и 8 из одного в другой. Внутри аэротенка расположены воздуховоды 2 с аэраторами 5 на конце. Вход сточных вод производится в верхней части первой секции 3, а выход — в верхней части второй секции 4. Длина аэротенка в 10 раз больше его ширины и составляет 50—150 м, рабочий объем секции от 1500 до 30 000 м^3 , время пребывания сточных вод в аэротенке от 8 до 20 ч. При подаче воздуха 5 $\text{м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ БПК сточных вод можно снизить от 300 до 15 $\text{мг О}_2/\text{л}$.

Аэротенки технологически связаны со вторичными отстойниками, которые применяются для отделения активного ила от очищенной в аэротенках сточной воды. Вторичные отстойники также являются контактными резервуарами, в которых к сточным водам добавляют хлористый раствор для дезинфекции. Вторичные отстойники могут быть горизонтального и вертикального типов. Продолжительность контакта хлора с водой не менее 30 мин.

Для очистки производственных стоков от нефтепродуктов (бензина, бензола, масел, жиров и др.) применяют специальные ловушки.

Отстойники. Для разделения в гравитационном поле неоднородных сред — суспензий и эмульсий — используются отстойные установки. В микробиологической промышленности отстойники используются для реализации процессов осаждения растворов питательных сред, солей, отделения частиц гипса от нейтрализата в гидролизном производстве, а также в системах водоподготовки и очистки промышленных сточных вод.

Отстойники по направлению движения жидкости в них делятся на радиальные, горизонтальные, вертикальные и тонкослойные. В радиальных движение жидкости осуществляется радиально от

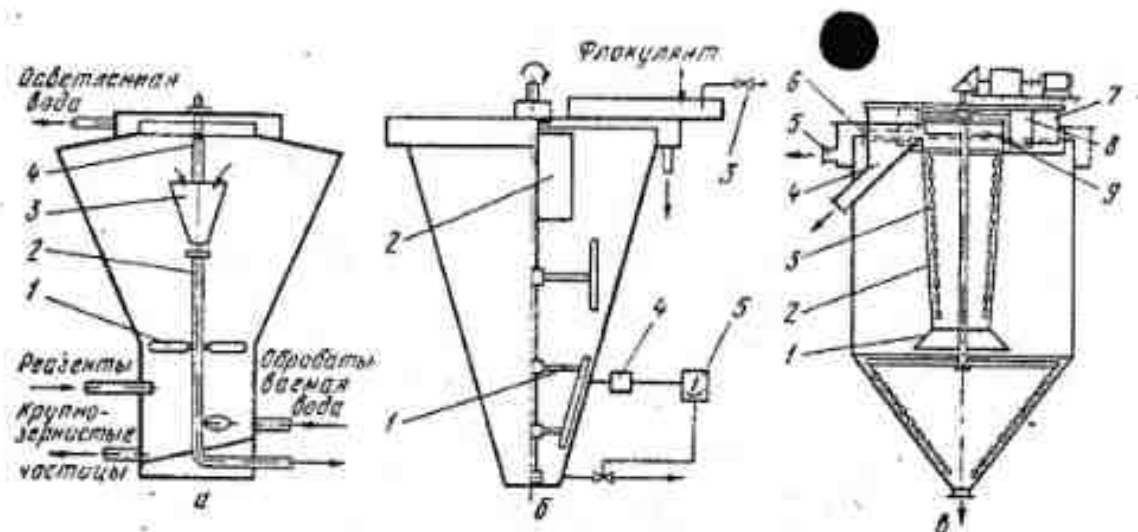


Рис. 15.4. Вертикальные отстойники:

а — цилиндрикоконический осветлитель; б — конический сгуститель; в — вертикальный отстойник для очистки суспензий с выделяющимся липким осадком

центра к наружной стенке или наоборот. В горизонтальных прямоугольных отстойниках движение жидкости происходит от одного конца устройства к другому, в вертикальных — из нижней части в верхнюю или наоборот. В тонкослойных отстойниках происходит тонкослойное отстаивание эмульсий и суспензий. Тонкослойные отстойники разделяют по направлению потоков на проточные, противоточные, с перекрестной схемой движения жидкости и осадка, проточно-противоточные и противоточно-проточные.

По назначению отстойники разделяют на осветлители, сгустители и сгустители-осветлители. В осветлителях происходит осветление раствора, в сгустителях — сгущение и получение твердого продукта, в сгустителях-осветлителях получают осветленный сгущенный продукт. Однако в сгустителе-осветлителе нельзя получить продукты с максимальной степенью сгущения или осветления.

По принципу действия отстойники могут быть периодического, полунепрерывного и непрерывного действия.

На рис. 15.4, а показан вертикальный цилиндрический отстойник-осветлитель. Принцип его действия следующий. Вода подается в цилиндрическую часть конуса тангенциально, что обеспечивает интенсивное перемешивание его с реагентами. На входе в коническую часть расположена струенаправляющая перегородка 1, которая стабилизирует вращательное движение воды. Крупные частицы оседают в цилиндрической части и периодически выводятся из аппарата. Мелкие частицы, поднимаясь в коническую часть отстойника, концентрируются в центре аппарата и оседают в конусе 3, откуда с частью воды попадают в трубу 2 и далее — в приемник осадка. Конус 3 с помощью телескопического устройства 4 может вертикально перемещаться, за счет чего регулируется качество очистки воды. На качество очистки воды оказывает влияние скорость подпора воды. Скорость воды в цилиндрической части регулируется в пределах от 0,3 до 1,2 м/с, при этом вертикальная состав-

ляющая ее движения составляет 0,013 м/с. В верхней части конуса горизонтальная составляющая скорости равна 0,005—0,02 м/с, а вертикальная — 0,0007 м/с.

Осветлитель с диаметром конусной части 4,8 м имеет производительность по воде 21,6 — 90 м³/ч.

На рис. 15.4, б показан вертикальный конический сгуститель. Вода на очистку поступает через клапан 3 в открытый желоб, в котором смешивается с высокомолекулярными полиэлектролитами. Далее смесь попадает в зону центральной цилиндрической перегородки 2, где твердые частицы образуют агломераты, укрупняются и начинают оседать в нижнюю часть конуса. Частицы дополнительно уплотняются с помощью мешалки 1, вращающейся с частотой 0,2—0,6 мин⁻¹. В нижней части конуса установлен датчик 4, который при достижении заданной плотности осадка подает сигнал на регулятор 5, включающий механизм разгрузки. В аппарате предусмотрен автоматический процесс подачи флокулянта. Степень обезвоживания осадка составляет от 95—96 до 55—65 %.

На рис. 15.4, в показан вертикальный цилиндрикоконический отстойник для очистки жидкостей, содержащих частицы, способные налипать и образовывать значительный слой отложений на стенках аппарата и образовывать пену. Отстойник изготовлен в виде цилиндрического резервуара с коническим дном и центральной конической трубой 2, имеющей внизу раструб 1. По периметру резервуара установлены кольцевая перегородка 6 и пеносборник 4. Суспензия, подаваемая на очистку, поступает в отстойник тангенциально в верхнюю часть центральной трубы. Под действием сил тяжести твердые частицы стремятся вниз, образуя в конической части отстойника осадок, а пена вместе с осветленной жидкостью поднимается вверх, в пространство между центральной трубой и кольцевой перегородкой. Небольшая часть пены вместе с осветленной жидкостью, двигаясь в пространстве между кольцевой перегородкой и стенкой резервуара, удаляется через патрубок 5.

Всплывающая пена с помощью вращающихся лопастей 7 и 9 направляется в пеносборник 4. Лопасть 8 служит для ускорения сброса пены при подаче некоторого количества воды. Лопастей изготавливают из листовой резины толщиной 4—8 мм. С помощью вращающихся цепей 3 со стенок снимается налипший осадок, который опускается на дно отстойника. В конической части также с помощью вращающихся цепей осадок собирается со стенок и выводится через нижний штуцер корпуса аппарата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в учебнике описания применяемых и недавно разработанных видов оборудования отражает уровень и состояние аппаратного оформления различных микробиологических производств. Следует отметить, однако, что микробиологическая промышленность создана сравнительно недавно и находится в стадии своего развития, поэтому наиболее прогрессивные технические решения еще не завершены.

В ближайшей перспективе микробиологическая промышленность будет базироваться на унифицированных поточных гибких технологических линиях непрерывного действия с дистанционным контролем и регулированием всех параметров процесса на первом этапе и управлением и оптимизацией параметров на втором этапе. Будут созданы различные виды оборудования большой единичной мощности с устройствами для применения современных электрохимических и электрофизических методов. Многие процессы будут одновременно осуществляться в одном агрегате, что позволит значительно снизить термические, технические и другие потери биологически активных веществ и повысить эффективность производства.

Широкое применение получают современные методы и аппаратура для процессов экструзии, мембранного разделения и фракционирования веществ, содержащихся в растворах на основе микрофилтрования, стерилизующего филтрования, ультрафилтрования, обратного осмоса и ионного обмена. Разрабатываются новые виды оборудования большой единичной мощности для процессов ферментативного гидролиза целлюлозо-содержащих материалов до простых сахаров, а также для биотрансформации отходов агропромышленного комплекса с превращением их в корма с высоким содержанием белка.

В целом микробиологическая промышленность в СССР развивается высокими темпами и поэтому разработка усовершенствованных и новых видов оборудования имеет исключительное значение.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бортников И. И., Босенко А. М. Машины и аппараты микробиологических производств.— Минск: Высшая школа, 1982.— 288 с.
2. Веселов А. И. Технологическое оборудование витаминных и микробиологических производств.— М.: Изд. МТИППа, 1984.— 108 с.
3. Веселов А. И. Центробежные и жидкостные сепараторы и центробежные экстракторы.— М.: Изд. МТИППа, 1982.— 113 с.
4. Виестур У. Э., Кристасонс М. Ж., Былинкина Е. С. Культивирование микроорганизмов.— М.: Пищевая промышленность, 1980.— 231 с.
5. Гапонов К. П. Процессы и аппараты микробиологических производств.— М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981.— 240 с.
6. Гинзбург А. С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов.— М.: Пищевая промышленность, 1973.— 528 с.
7. Гинзбург А. С. Технология сушки пищевых продуктов.— М.: Пищевая промышленность, 1976.— 248 с.
8. Грачева И. М. Технология ферментных препаратов.— М.: Пищевая промышленность, 1975.— 392 с.
9. Грачева И. М., Гаврилова Н. Н., Иванова Л. А. Технология микробных белковых препаратов, аминокислот и жиров.— М.: Пищевая промышленность, 1980.— 448 с.
10. Дытнерский Ю. Н. Обратный осмос и ультрафилтрация.— М.: Химия, 1978.— 352 с.
11. Зуев Ф. Г., Лотков Н. А., Полухин А. И. Подъемно-транспортные машины зерноперерабатывающих предприятий.— М.: Колос, 1978.— 264 с.
12. Калунянц К. А., Голгер Л. И. Микробные ферментные препараты.— М.: Пищевая промышленность, 1979.— 304 с.
13. Калунянц К. А., Голгер Л. И., Завьялов Ю. Ф. Машины и аппараты для микробиологической промышленности (типовое оборудование). Каталог.— М.: ОНТИТЭИмикробиопром. Ч. I, 1976.— 148 с.
14. Калунянц К. А., Ездаков Н. В., Пивняк И. Г. Применение продуктов микробиологического синтеза в животноводстве.— М.: Колос, 1980.
15. Карпов А. М., Улумиев А. А. Сушка продуктов микробиологического синтеза.— М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.— 216 с.
16. Колосков С. П., Яровенко В. Л., Устинников Б. А. Оборудование спиртовых заводов.— М.: Пищевая промышленность, 1975.— 296 с.
17. Матвеев В. Е. Основы асептики в технологии чистых микробиологических препаратов.— М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981.— 312 с.
18. Матвеев В. Е. Научные основы микробиологической технологии.— М.: Агропромиздат, 1985, с. 146—168.
19. Мосичев М. С., Складнев А. А., Котов В. Б. Общая технология микробиологических производств.— М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.— 264 с.
20. Немыре В. И., Влодавец В. В. Охрана окружающей среды от выбросов предприятий микробиологической промышленности.— М.: Медицина, 1979.— 142 с.
21. Основные процессы и аппараты химической технологии под ред. проф. Ю. И. Дытнерского.— М.: Химия, 1983.— 272 с.

22. Павлов К. Ф., Романков П. Т., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. — Л.: Химия, 1981. — 560 м.

23. Рогов И. А., Некрутман С. В., Лысов Г. В. Техника сверхвысокочастотного нагрева пищевых продуктов. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 220 с.

24. Смирнов В. А. Пищевые кислоты. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. — 254 с.

25. Стабников В. Н., Лысянский В. М., Попов В. Д. Процессы и аппараты пищевых производств. — М.: Агропромиздат, 1985. — 510 с.

26. Ферментация и технология ферментов: перевод с английского В. М. Вадимова/под ред. проф. К. А. Калунянца. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. — 336 с.

27. Шнайман Л. С. Производство витаминов. — М.: Пищевая промышленность, 1973. — 439 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Аминокислоты
сушка 303
схема получения 18
Антибиотики кормовые
сушка 304
схема получения 20
Аппараты мембранные 280, 281, 298
— посевные 12, 17, 20
— теплообменные 80, 90, 93—96, 98—103
Аэротенки 383

Б

Бактофуги 250—252
Барботер 191, 192
Батареи диффузионные 132, 133
— циклонные 379
БПК, БПК₂ 381

В

Вакуум-выпарные установки 255
Вакуум-насосы 272, 273
Вакуум-фильтры барабанные 151—154
— ленточные 148, 150
Вентиляторы для сушильных установок 335, 336
Виброконвейеры 39, 40
Вибростерилизатор 77
Воздуходувки 130
Волокна для мембранного разделения 278, 279
Выдерживатель 84, 85, 87

Г

Гидролизанпараты 130
Гидромониторы 66
Гидроциклоны 379, 381, 382
Гранулирование 346
— оборудование 347—357, 377
— расчет 357—359
Грузы
классификация 28
характеристики физико-механические 28—32

Д

Дезинтегратор 339
Десольватор 141, 142

Диализ 276
Дисмембратор 339
Диффузор 132
Дозаторы готовой продукции 362
— сред жидких 66
— сыпучих 59—65
Дробилки 339, 340, 377
Дрожжегенератор 13, 15
Дрожжи кормовые
сушка 303
схемы получения 12—16
Друк-фильтры 146, 147

И

Измельчения степень 339
Инокулятор 19, 25

К

Калориферы 334, 335
Камеры пылесосаочные 379
Комплексы фильтрующие автоматизированные 118, 122—128
Компрессоры 128
Конденсаторы 269—272
Концентраты белково-витаминные
сушка 303
схемы получения 10—16
Концентрирование 254
Коэффициент
диффузии 132
проскока 117, 123
рекуперации теплоты 84
теплопередачи 101, 266—268, 335
теплопроводности 101
теплоотдачи 101
трения внешнего 28, 31, 33
— внутреннего 29
удержания мембраны 279
флотации 159
Культивирование микроорганизмов
на жидких средах 190, 202
— на твердых средах 165
динамическое 175
статико-динамическое 171
статическое 166

Л

Ликля технологическая 8, 9

М

Материалы фильтрующие для воздуха 108

металлокерамические 118—120
Мельницы ударные 339—343
Мембраны ультрафильтрационные 276, 279, 297, 298
Микрокапсулирование 359
Микрофильтрация 276
Модуль мембранный 285
Момент крутящий сопротивления 222

Н

Насосы 52—59

О

Оборудование микробиологическое
вспомогательное 46
классификация 5—8
требования 4, 5
Операции финишные 362—365
Осветление 299
Осмоз обратный 276, 295—297
Отстойники 381, 383—385
Охрана среды окружающей 379
— труда 367—369
Очистка воздуха 125—128, 379, 380
— сточных вод 295—297, 380—383

П

Пеноотделитель 199, 201, 205
Петринова ткань 116, 117
Питатели см. Дозаторы
Прессы отжимные 143—145

Р

Разделение мембранное 276, 277
Растворы биологически активных веществ 254
концентрированные 227
очистка 244
разделение мембранное 276, 285
Растительные установки
барабанные 185—189
вибрационные 175—177
для получения посевного материала 179
для статико-динамического выращивания 171—174
классификация 165, 166
колонные 177—179
с вертикально расположенными кюветами 167—171
Рекуператор теплоты 84, 87

С

Селективность мембраны 276
Сепараторы 243—245, 249, 376
— сопловые (бактофуги) 250—253
Синтез микробиологический 3
Склады 369
Скорость витания 31, 33

Скруббер Вентури 379, 380
Смесители 343—346
Стандартизация 343
Стекатель 142
Стерилизация воздуха 106
— биологическая 113—118
— отработавшего 125—128, 379
— предварительная 108—111
— питательных сред 69
— жидких 81
— ионизирующим излучением 80
— твердых 71
— токами высокой частоты 78
Суперцентрифуги 230—232
Суспензии 227, 228, 243
Сушка 302
Сушилки см. Установки сушильные
Схема технологическая производства 10

Т

Теплообменники см. Аппараты теплообменные
Трясосито 135
Турбокомпрессор 128
Турбоэжекторы 220, 221
ТЭН 123

У

Угол естественного откоса 29, 31, 33
Ультрафильтрация мембранная 276—278
Упаковывание 362
Уплотнения торцевые ферментаторов 194, 196
Установки
— выпарные 254
— вакуумные 255, 256
— пленочные 256, 257
— роторные 257—260
— с вынесенной греющей камерой 262—264
— трехкорпусные 265—266
— трубчатые 257—262
— для микрокапсулирования 359—362
— для непрерывного осаждения ферментов 274, 275, 278
— подъемно-транспортные (конвейеры) 26, 27, 377, 378
— вибрационные 39, 40
— винтовые 38
— ленточные 32—35
— пневматические 41—45
— скребковые 35, 36
— элеваторные 36, 37
— сушильные 302, 303, 376, 377
— барабанные 304—306
— вакуумные 319, 320

— вальцовые 31
— вихревые 306—308
— конвейерные 310
— многоленточные 311
— пневматические 308, 309
— распылительные 323, 324, 327—332
— сублимационные 321—323
— шахтные 314, 315
— ультрафильтрационные
— для очистки стоков 295
— для разделения растворов биологически активных веществ 285
— зарубежные 291—295
— модульные 285—291
Устройства для мойки 66, 67

Ф

Фактор разделения 229, 243
Фасованье 362
Ферментаторы
для нестерильного выращивания
— горизонтальные 208, 209
— колонные 209—216
— с интенсивным массообменом 218, 219
— с пневматическим перемешиванием 202—204
— с самовсасывающей мешалкой 204—207
— с эжекционной системой аэрирования 216—218
для стерильного выращивания
— расчет 221—226
— с механическим перемешиванием барботажного типа 191—196
— с пневматическим перемешиванием 196—202
Ферментов микрокапсулирование 359
— осаждение 274, 275
— сушка 303
— схема получения 21, 23, 25
Флотаторы 150—164
Флотации коэффициент 159
Фильтрование
скорость 110, 111

— стерилизующее 299
Фильтр-прессы автоматические
ФПАКМ 154—157
— камерные периодические 147, 148
Фильтры для очистки воздушных выбросов 379
— для разделения жидкостей 146
непрерывные 148—157
периодические 146—148
расчет и выбор 157—159
— для стерилизации воздуха 113—116
на основе фторопластовых материалов 118
с тканью Петринова 116, 117
— для стерилизующего фильтрования жидкостей 299—301

Ц

Центрифуги 227—229, 376
— осадительные горизонтальные 232—234
— отстойные 229, 230
— подвесные 235—238
— трубчатые (суперцентрифуги) 230—232
Циклоны 336—338, 379

Ш

Шламовое пространство 244

Э

Экстракторы 32
— двухшнековые горизонтальные 139
— диффузионные 132, 133
— колонные 138, 139
— непрерывные 134—136
— роторные 140, 141
— шнековые вертикальные 136
Экструдеры 347, 348
Электролиз 276
Электрофлотация 160

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Классификация оборудования микробиологической промышленности. Формирование структур технологических линий	5
1.1. Классификация оборудования микробиологических производств	5
1.2. Формирование оптимальных вариантов структур технологических линий	8
Глава 2. Машинно-аппаратурные схемы производства продуктов микробиологического синтеза	10
2.1. Производство концентрата витамина B ₁₂	10
2.2. Производство белково-витаминных концентратов	10
2.2.1. Производство кормовых дрожжей на жидких гидролизатах растительных материалов и сульфитных щелоках	12
2.2.2. Производство кормовых дрожжей на отходах пищевой промышленности	13
2.2.3. Производство кормовых дрожжей на очищенных парафинах	14
2.2.4. Производство кормовых дрожжей на газообразных углеводородах	16
2.3. Производство лимонной кислоты	17
2.4. Производство лизина на свекловичной мелассе	18
2.5. Производство кормового препарата биовита	20
2.6. Производство бактериальных препаратов	21
2.7. Производство ферментных препаратов	21
2.7.1. Производство ферментных препаратов поверхностным способом на твердых питательных средах	23
2.7.2. Производство ферментных препаратов глубинным способом на жидких питательных средах	25
Глава 3. Подъемно-транспортное оборудование	26
3.1. Классификация и выбор подъемно-транспортных установок для микробиологических предприятий	26
3.2. Физико-механические характеристики транспортируемых грузов	28
3.3. Установки непрерывного перемещения грузов	32
3.3.1. Ленточные транспортеры	32
3.3.2. Скреповые транспортеры	35
3.3.3. Элеваторы (нории)	36
3.3.4. Винтовые транспортеры	38
3.3.5. Вибрационные транспортные установки	39
3.3.6. Пневматический транспорт	41
Глава 4. Вспомогательное оборудование	46
4.1. Емкостное оборудование	46
4.2. Реакторы	50
4.3. Малогабаритная аппаратура со взрывозащищенным электрообогревом	51
4.4. Насосы	52
4.4.1. Лопастные насосы	53
4.4.2. Роторные насосы	58
4.4.3. Расчет и выбор насосов	59
4.5. Дозаторы сыпучих и жидких сред	59
4.5.1. Объемные дозаторы	59

4.5.2. Весовые дозаторы	63
4.5.3. Дозаторы жидких сред	66
4.6. Устройства для мойки оборудования	66

Глава 5. Оборудование для стерилизации питательных сред. Гидролизаторы	69
5.1. Классификация способов и оборудования для стерилизации питательных сред	69
5.2. Стерилизаторы твердых питательных сред	71
5.2.1. Стерилизатор горизонтального типа	71
5.2.2. Двухступенчатый стерилизатор периодического действия горизонтального типа	73
5.2.3. Стерилизатор периодического действия вертикального типа	74
5.2.4. Вибростерилизатор	77
5.2.5. Стерилизация сред токами высокой частоты	78
5.2.6. Стерилизация с помощью ионизирующего излучения	80
5.3. Оборудование для стерилизации жидких питательных сред	81
5.3.1. Сателлит	81
5.3.2. Установки непрерывной стерилизации жидких питательных сред	82
5.4. Теплообменные аппараты	88
5.4.1. Классификация и выбор типа теплообменных аппаратов	88
5.4.2. Кожухотрубные теплообменные аппараты	90
5.4.3. Теплообменные аппараты типа «труба в трубе» и змеевиковые	94
5.4.4. Пластинчатые теплообменные аппараты	96
5.4.5. Спиральные теплообменные аппараты	99
5.4.6. Тепловой и гидравлический расчеты теплообменных аппаратов	100
5.5. Гидролизаторы периодического действия	103

Глава 6. Оборудование для стерилизации воздуха. Компрессоры и воздуходувки	106
6.1. Фильтрующие материалы	108
6.2. Фильтры для предварительной очистки воздуха	109
6.2.1. Фильтры ячейковые унифицированные типов ФЯУ и ФЯП	112
6.2.2. Фильтры масляные самоочищающиеся	112
6.3. Фильтры для биологической очистки воздуха	113
6.3.1. Фильтры глубинные	113
6.3.2. Фильтры совмещенные	115
6.3.3. Фильтры с тканью Петрянова	116
6.3.4. Фильтры с применением фторопластовых материалов	118
6.4. Автоматизированные фильтрующие комплексы	119
6.4.1. Фильтрующие металлоэлементы	119
6.4.2. Комплекс для предварительной очистки воздуха	122
6.4.3. Комплекс для биологической очистки воздуха	124
6.4.4. Комплекс для биологической очистки отработанного воздуха	125
6.5. Компрессоры и воздуходувки	128

Глава 7. Оборудование для экстрагирования, отжима, фильтрования и флотации	132
7.1. Экстракторы	132
7.1.1. Диффузионные батареи	132
7.1.2. Диффузионная установка непрерывного действия конструкции ВНИЭКИпродмаша	134
7.1.3. Шнековый вертикальный экстрактор непрерывного действия ЭТШВ-600	136
7.1.4. Расчет вертикального экстрактора шнекового типа	137
7.1.5. Экстракторы непрерывного действия ЭКТ-800 и ЭКТ-400	138
7.1.6. Двухшнековый горизонтальный экстрактор непрерывного действия	139
7.1.7. Экстракторы роторного типа	140
7.1.8. Стекатель непрерывного действия	142

7.2. Оборудование для отжима	143
7.3. Фильтры	146
7.3.1. Фильтры периодического действия	146
7.3.2. Фильтры непрерывного действия	148
7.3.3. Выбор и расчет фильтров	157
7.4. Флотаторы	159
Глава 8. Оборудование для культивирования микроорганизмов на твердых питательных средах	165
8.1. Классификация оборудования для культивирования микроорганизмов на твердых питательных средах	165
8.2. Камерные растительные установки с горизонтально расположенными перфорированными кюветами	166
8.3. Механизированные растительные установки с вертикально расположенными кюветами	167
8.4. Установки для статико-динамического выращивания культур	171
8.5. Вибрационные растительные установки	175
8.6. Установки колонного типа	177
8.7. Растительные установки барабанного типа	185
Глава 9. Ферментаторы для глубинного культивирования микроорганизмов на жидких питательных средах	190
9.1. Ферментаторы для стерильного культивирования микроорганизмов	190
9.1.1. Ферментаторы с механическим перемешиванием барботажного типа	191
9.1.2. Ферментаторы с пневматическим перемешиванием и аэрированием среды	196
9.2. Ферментаторы для нестерильных процессов культивирования микроорганизмов	202
9.2.1. Ферментаторы с пневматическим перемешиванием и внутренним циркуляционным контуром	202
9.2.2. Ферментаторы с самовсасывающей мешалкой	204
9.2.3. Ферментатор горизонтального типа конструкции ЛенНИИхиммаша	208
9.2.4. Колонные ферментаторы	209
9.2.5. Ферментаторы с эжекционной системой аэрирования	216
9.2.6. Ферментатор с интенсивным массообменом	218
9.3. Конструкции аэрирующих устройств. Турбоэжекторы	220
9.3.1. Турбоэжектор с перфорированными кольцами	220
9.3.2. Турбоэжектор с насадками	221
9.4. Расчет ферментатора с механической мешалкой и барботером	221
Глава 10. Оборудование для разделения жидкой и твердой фаз	227
10.1. Оборудование для центрифугирования суспензий	227
10.1.1. Классификация центрифуг	228
10.1.2. Центрифуги вертикальные малолитражные	229
10.1.3. Центрифуги отстойного типа ОВБ-403К-04 и фильтрующие типа ФВБ	229
10.1.4. Центрифуги трубчатые (суперцентрифуги)	230
10.1.5. Центрифуги осадительные горизонтальные со шнековой выгрузкой осадка типа ОГШ	232
10.1.6. Центрифуги автоматизированные осадительные с ножевой выгрузкой осадка ОГН 903К-1 и 2003К-1	234
10.1.7. Центрифуги фильтрующие и осадительные подвесные с верхним приводом типов ФПН и ОПН	235
10.1.8. Центрифуги фильтрующие горизонтальные с пульсирующей выгрузкой осадка типа ФГП	238
10.1.9. Центрифуги типа ФПД	239
10.1.10. Центрифуги и сепараторы во взрывозащищенном исполнении	240
10.2. Сепараторы	242
10.2.1. Сепараторы-осветители	244

10.2.2. Сепараторы с центробежной непрерывной выгрузкой осадка	246
10.2.3. Сепаратор во взрывозащищенном исполнении типа ОДЛ-633/6К-1	249
10.3. Бактофуги фирмы «Альфа-Лаваль»	250

Глава 11. Оборудование для концентрирования и очистки растворов биологически активных веществ

11.1. Выпарные установки	254
11.1.1. Вакуум-выпарная установка с принудительной циркуляцией периодического действия	255
11.1.2. Выпарные трубчатые пленочные аппараты	256
11.1.3. Выпарные аппараты трубчатого типа с естественной и принудительной циркуляцией	262
11.1.4. Расчет трехкорпусной вакуум-выпарной установки с барометрическим конденсатором	266
11.2. Конденсаторы	269
11.3. Вакуум-насосы	272
11.4. Установка непрерывного осаждения ферментов	274

Глава 12. Оборудование для мембранного разделения растворов биологически активных веществ

12.1. Техника мембранного разделения	276
12.1.1. Ультрафильтрационные мембраны	277
12.1.2. Полимерные волокна	278
12.1.3. Полые волокна	279
12.1.4. Виды мембранных аппаратов	280
12.2. Промышленные ультрафильтрационные установки	281
12.2.1. Ультрафильтрационные установки УКФ-40 и УКФ-180	281
12.2.2. Ультрафильтрационные установки модульного типа	285
12.2.3. Модульные ультрафильтрационные установки непрерывного действия конструкции ВНИЭКИпродмаша	288
12.2.4. Зарубежные ультрафильтрационные установки	291
12.3. Мембранные установки для очистки промышленных стоков	295
12.4. Расчет ультрафильтрационных установок и мембранных аппаратов	297
12.5. Установки для осветления и стерилизующего фильтрования	299

Глава 13. Оборудование для сушки

13.1. Классификация сушилок	302
13.2. Продукты микробиологического производства как объекты сушки	303
13.3. Барабанные сушильные установки	304
13.4. Вихревая сушильная установка типа СВН	306
13.5. Пневматические сушилки со взвешенным слоем продукта	308
13.6. Паровые конвейерные сушилки типа СПК	309
13.7. Многоленточная сушилка с опрокидывающимися пластинами	311
13.8. Конвейерная сушилка типа А1-ВУС-3	311
13.9. Шахтная сушилка типа ВИС-42Д	314
13.10. Вальцовые сушилки	315
13.11. Гребковые вакуумные сушилки типа СВЦР	319
13.12. Сублимационные сушилки	321
13.13. Распылительные сушилки для термолабильных растворов	323
13.14. Расчет сушильных установок	330

Глава 14. Оборудование для измельчения, стандартизации, гранулирования и микрокапсулирования

14.1. Оборудование для измельчения	339
14.2. Оборудование для стандартизации сыпучих и пастообразных материалов	343
14.3. Оборудование для гранулирования	346
14.3.1. Машины для экструзии и центробежного окатывания	347
14.3.2. Шнековые грануляторы	348
14.3.3. Двухшнековый гранулятор типа ГФШ-200-2	349

14.3.4. Оборудование для гранулирования в виброкипящем слое	350
14.3.5. Грануляторы окатывания	352
14.3.6. Установки для гранулирования методом прессования	353
14.3.7. Гранулятор-сушилка для кормовых дрожжей и лизина	354
14.3.8. Расчет гранулятора-сушилки для продуктов микробиологического синтеза	357
14.4. Установки для микрокапсулирования	359
14.5. Оборудование для проведения финишных операций	362
Глава 15. Охрана труда и окружающей среды на предприятиях микробиологической промышленности	367
15.1. Общие вопросы охраны труда на микробиологических предприятиях	367
15.2. Техника безопасности на предприятиях микробиологической промышленности	370
15.3. Охрана окружающей среды	381
Заключение	389
Список рекомендуемой литературы	391
Предметный указатель	391

КАЛУСТ АКОПОВИЧ КАЛУНЯНЦ,
ЛЕОНИД ИСАЕВИЧ ГОЛГЕР,
ВЛАДИМИР ЕВГЕНЬЕВИЧ БАЛАШОВ

ОБОРУДОВАНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Зав. редакцией Л. М. Богатая
Редактор Г. В. Сулимина
Художественный редактор В. А. Чуракова
Технический редактор Н. Н. Зиновьева
Корректор Т. В. Шамонова

ИБ № 4466

Сдано в набор 22.04.86. Подписано в печать 12.12.86. Т-22386. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага книжно-журнальная. Литературная гарнитура. Высокая печать. Усл. п. л. 25. Усл. кр.-отт. 25. Уч.-изд. л. 26,68. Изд. № 513. Тираж 2300 экз. Заказ 1486. Цена 1 р. 20 в.

Орден Трудового Красного Знамени ВО «Агропромиздат».
107507, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.