

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Баламирзоев Назим Лиодинович
Должность: И.о. ректора
Дата подписания: 21.08.2023 11:35:27
Уникальный программный ключ:
2a04bb882d7edb7f479cb266e4a9a2d4bce8b49



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФГБОУ ВО «ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ,
ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ И ТОВАРОВЕДЕНИЯ**

Ахмедов М.Э., Демирова А.Ф.

ТЕПЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ



Махачкала 2020



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФГБОУ ВО «ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ,
ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ И ТОВАРОВЕДЕНИЯ**

Ахмедов М.Э., Демирова А.Ф.

ТЕПЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

УЧЕБНИК

для студентов направления подготовки магистров
19.04.02–Продукты питания из растительного сырья и
аспирантов направления 19.06.01 – Промышленная экология и
биотехнологии

МАХАЧКАЛА 2020

УДК 664.8.036.53(075)

ББК. 36.91

Тепловое оборудование пищевых предприятий: учебник для студентов направления подготовки магистров 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья. // Махачкала, ИПЦ ДГТУ, 2019, 179 с.

Описано тепловое оборудование предприятий для переработки растительного сырья с учетом последних достижений в науке и технике.

Рассмотрены конструкции, устройства, принцип работы машин и аппаратов. Освещены вопросы физической сущности и дано теоретическое обоснование процессов, возникающих при работе оборудования, приведены технологические, тепловые и конструктивные расчеты.

Учебник предназначен для студентов и магистрантов направления подготовки «Продукты питания из растительного сырья».

Данный учебник также будет полезен для докторантов, аспирантов, соискателей ученых степеней, а также для преподавателей, мастеров производственного обучения и студентов средних специальных учебных заведений, готовящих кадры для пищевой и перерабатывающей промышленности

Авторы: Ахмедов М.Э., д.т.н., доцент,
Демирова А.Ф., д.т.н., доцент

Рецензенты: **1. Мукайлов М.Д.**, д.с.-х.н., профессор, первый проректор ДагГАУ,
2. Касьянов Г.И., д.т.н., профессор кафедры технологии продукции животного происхождения Кубанского государственного технологического университета, заслуженный изобретатель РФ

Рег. № 4627

Печатается по постановлению Совета Дагестанского государственного технического университета

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ГЛАВА 1.....	6
1.1 Методика расчета тепловых аппаратов.....	6
1.2 Теплоносители.....	7
1.3 Тепловой и материальный балансы.....	8
1.4 Расчет теплообменных аппаратов.....	8
ГЛАВА 2.....	17
2.1 Оборудование для бланширования, разваривания и подогревания сырья.....	17
2.2 Бланширователи.....	17
2.3 Развариватели.....	24
2.4 Подогреватели.....	27
2.5 Подогреватели продуктов, расфасованных в консервную тару.....	36
2.5.1 Аппарат для нагрева плодоовощных консервов в электромагнитном поле сверхвысокой частоты.....	36
2.5.2 Аппарат для нагрева плодов в банках водяным паром.....	38
ГЛАВА 3.....	40
3.1 Оборудование для обжаривания сырья.....	40
3.2 Теоретические основы тепло- и массообмена в обжарочных печах.....	42
3.3 Нагревательные камеры обжарочных печей.....	46
3.4 Обжарочные аппараты (печи).....	48
3.5 Расчет обжарочных печей.....	50
3.6 Автоматический контроль, регулирование и управление обжарочными печами.....	53
ГЛАВА 4.....	55
4.1 Выпарные установки.....	55
4.2 Открытые выпарные аппараты.....	59
4.3 Однокорпусные вакуум-аппараты.....	60
4.4 Компрессионные вакуум-аппараты.....	65
4.5 Многокорпусные выпарные установки.....	73
4.5 Расчет выпарных установок.....	79
ГЛАВА 5.....	84
5.1 Стерилизаторы и пастеризаторы.....	84
5.3 Стерилизаторы периодического действия.....	87
5.4 Стерилизаторы непрерывного действия.....	100
5.5 Инжекционный стерилизатор.....	111
5.6 Установка для стерилизации токами высокой частоты (вч).....	112
5.7 Установки для стерилизации ионизирующим облучением.....	113
5.8 Аппараты для стерилизации консервов новыми способами.....	113
5.8.1 Аппарат для стерилизации нагретым воздухом и двухэтапным охлаждением.....	116
5.8.2 Аппарат для тепловой стерилизации в жидких высокотемпературных теплоносителях с двухэтапным охлаждением.....	118
5.8.3 Аппарат для интенсивной тепловой стерилизации	

плодоовощных консервов в жидких высокотемпературных теплоносителях с использованием вторичных тепловых ресурсов.....	119
5.9 Пастеризаторы.....	120
ГЛАВА 6.....	128
6.1 Сушильные установки.....	128
6.2 Паровые ленточные сушилки.....	128
6.3 Распылительные сушилки.....	135
6.4 Установка для сушки сублимацией.....	139
6.5 Установка для сушки продуктов во вспененном состоянии.....	143
ГЛАВА 7.....	145
7.1 Аппараты для охлаждения и замораживания продуктов.....	145
7.2 Сущность процессов охлаждения и замораживания продуктов.....	145
7.3 Классификация способов и устройств для охлаждения и замораживания продуктов.....	148
7.4 Охладители.....	149
7.5 Скороморозильные аппараты.....	151
7.6 Расчет расхода холода на замораживание.....	160
ГЛАВА 8.....	163
8.1 Вспомогательные устройства теплового оборудования.....	163
8.2 Конденсационные установки.....	163
8.3 Оборудование для удаления воздуха из конденсаторов.....	167
8.4 Конденсатоотводчики.....	168
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	177

ВВЕДЕНИЕ

Важным направлением увеличения производства продуктов питания является развитие прогрессивных технологий и создание высокопроизводительного оборудования, обеспечивающих высокоэффективные технологические процессы, использование которых значительно повышает производительность труда, сокращает негативное воздействие на окружающую среду и способствует экономии исходного сырья, топливно-энергетических и материальных ресурсов.

Научно-технический прогресс в перерабатывающей промышленности связан с освоением научных открытий, изобретений, результатов исследований и разработок, внедрением передовых технологий и прогрессивной техники

Разработка и внедрение прогрессивных технологий и нового оборудования связаны с глубоким исследованием закономерностей физико-химических процессов в аппаратах, предназначенных для переработки сырья и производства пищевых продуктов.

Большой вклад в развитие технологий и оборудования внесли ученые М.С.Аминов, М.Я.Дикис, А.М.Мальский, Б.Л.Флауменбаум, К.Ф. Павлов, Д.П. Михеев, А.Г. Касаткин, П.Г. Романков, А.А. Гухман, А.Н. Плановский и др.

В учебном пособии «Тепловое оборудование предприятий для переработке растительного сырья» изучаются машины и аппараты, предназначенные для тепловой обработки пищевых продуктов.

Современное учение о теплообменных аппаратах опирается на прочный фундамент химии, физики, математики, механики, теплотехники, электротехники, технической кибернетики, материаловедения, и других дисциплин.

В учебном пособии представлены устройства и принципа действия оборудования, в которых осуществляются процессы, приведены методы их расчета, которые позволяют находить оптимальные параметры и конструкцию аппаратов.

ГЛАВА 1

1.1 Методика расчета тепловых аппаратов

При изготовлении пищевых продуктов сырье и полуфабрикаты подвергаются различной тепловой обработке, в результате которой удаляется часть влаги, они приобретают определенный вкус, цвет и запах, в них прекращается жизнедеятельность микроорганизмов, в результате чего обеспечивается их сохранность.

Тепловые процессы (уваривание, стерилизация, пастеризация, обжаривание, бланширование, сушка и замораживание) проводят при определенных режимах (продолжительность и температура обработки, температура теплоносителя).

Режим теплового процесса выбирают таким, чтобы за минимальное время была проведена необходимая тепловая обработка продукта, а качество его не ухудшилось. Так, при концентрировании томатопродуктов стремятся удалить влагу при низких температурах кипения (под вакуумом) для наиболее полного сохранения пищевой ценности томатов. Однако из-за значительного снижения температуры выпаривания томатопродуктов вследствие увеличения их вязкости прекращаются конвекционные потоки и процесс выпаривания переходит в сушку. При этом скорость удаления влаги резко снижается, что практически нецелесообразно. Выбирая давление и температуру греющего пара, учитывают особенности нагреваемого продукта. Например, при подогреве томатной пасты перед розливом выбирают такие температуру и давление пара, при которых на поверхности нагрева не образуется нагар.

Теплообмен в пищевых продуктах зависит от их консистенции и агрегатного состояния. В жидких продуктах (соках, бульонах, растительном масле и др.) теплообмен протекает главным образом путем конвекции. В полужидких высококонцентрированных продуктах (томатной пасте, пюре, икре, повидле и др.) теплообмен происходит путем конвекции и теплопроводности, в твердых, либо коллоидно-капиллярных (овоцах, фруктах, мясе, рыбе и др.) – только путем теплопроводности. Теплообмен путем теплопроводности в твердом влажном сырье усложняется массопроводностью. Сложный теплообмен происходит в банках с консервами (например, в компотах или в зеленом горошке): в жидкой части – путем конвекции, в плодах – теплопроводности.

Теплофизические свойства пищевых продуктов, в особенности такие, как вязкость, теплопроводность, теплоемкость, плотность и другие, зависящие от вида продукта, его температуры, концентрации и давления над ним, значительно влияют на теплообмен. При теплообмене изменяются температура продукта (нагревается или охлаждается) и его агрегатное состояние (выпаривается влага, он плавится или затвердевает). При этом всегда изменяются физические и часто физико-химические свойства продукта (коэффициент вязкости, теплоемкость, теплопроводность и др.).

При кипении пищевых продуктов температура превышает температуру кипения воды при данном давлении на величину температурной или

физико-химической депрессии. Температурная депрессия зависит от вида продукта и концентрации сухих веществ.

1.2 Теплоносители

На консервных предприятиях в качестве теплоносителя преимущественно используют водяной насыщенный пар и воду, в редких случаях – горячее масло и воздух. Применение водяного насыщенного пара как основного теплоносителя обусловлено удобством транспортирования и изменения его количества, легкостью поддержания температуры регулированием давления, безвредностью, большой скрытой теплотой конденсации, незначительной агрессивностью к материалу трубопроводов и аппаратов, пожаробезопасностью. Кроме того, водяной пар можно непосредственно вводить в пищевой продукт.

Горячую воду и масло также широко применяют в качестве теплоносителя, что особенно выгодно при вторичном использовании теплоты конденсатов и жидкостей (продуктов), которые по ходу технологического процесса нагреваются до высокой температуры. По сравнению с подогревом паром подогрев водой менее интенсивен и характеризуется снижением температуры теплоносителя.

Общий недостаток пара и воды как теплоносителей – быстрый рост давления с повышением температуры.

На тепловые процессы затрачивается большое количество тепловой энергии. При использовании более совершенной тепловой аппаратуры и технологии, а также при уменьшении потерь, можно получить значительную экономию тепловой энергии.

В ряде случаев при проведении технологических процессов тепловую обработку пищевых продуктов заменяют более прогрессивной электрообработкой (табл. 1.1).

Таблица 1.1 - Характеристика различных видов электрообработки

Средство обработки		Частота электромагнитных колебаний, Гц	Процесс
Токи	постоянные	60	Контактный нагрев, выпечка, пастеризация, вытопка жиров
	низкокачественные высокой частоты	$10^3 \dots 10^6$	Стерилизация и пастеризация, нагрев, сушка, обжаривание зерен, варка, выпечка, размораживание мяса
Лучи	инфракрасные	$10^{12} \dots 10^{14}$	Нагрев, сушка, варка, обжаривание зерен выпечка кондитерских изделий
	ультрафиолетовые	$10^{12} \dots 10^{17}$	Стерилизация

1.3 Тепловой и материальный балансы

При обработке пищевых продуктов тепловые процессы протекают по законам тепло- и массопередачи. Пользуясь этими законами, можно исследовать и анализировать работу существующих и проектируемых аппаратов. Анализируя тепловой и материальный балансы теплового процесса, можно судить о его рациональности и величине потерь, а также установить пути и способы их снижения.

Если пренебречь незначительными потерями, то количество продукта, введенного в технологический процесс, равно количеству продукта, полученного в результате технологического процесса. Сохранение энергии и массы является основой теплового и материального балансов технологического процесса.

Общий вид уравнения материального баланса

$$\sum G_B = \sum G_H, \quad (1.1)$$

где $\sum G_B$ — суммарное количество внесенного в аппарат продукта, кг/с;
 $\sum G_H$ — суммарное количество вынесенного из аппарата продукта, кг/с.

Суть теплового баланса заключается в равенстве количества тепловой энергии, отданной теплоносителем, количеству тепловой энергии, затрачиваемой на тепловую обработку продукта и компенсацию потерь в окружающую среду. При установившемся тепловом режиме аппарата теплота, вносимая теплоносителем, должна быть равна теплоте для осуществления технологического процесса.

1.4 Расчет теплообменных аппаратов

Современное развитие технологических процессов пищевых производств немислимо без активного воздействия на материальные потоки высоких и низких температур и давлений. В связи с этим значительно возрастает роль энергетических факторов ведения технологических процессов. К числу таких факторов относится температурное (тепловое) воздействие — эффективное средство оптимальной организации технологии производства пищевого продукта с заданными физико-химическими и органолептическими показателями. Следует отметить, что значительное улучшение технологических показателей процессов сопровождается заметным повышением экономических результатов работы аппаратов.

Расширение области применения энергии в пищевых производствах привело к созданию различных теплообменных аппаратов, к увеличению единичной мощности их, появлению отдельных станций, потребление энергии которыми значительно возросло.

Теплообменные аппараты и установки — наиболее крупные потребители воды. Из вышесказанного следует, что в связи с современными тенденциями развития систем теплоиспользования и водоснабжения комплексная

оптимизация теплообменных аппаратов является актуальной задачей и может рассматриваться как путь совершенствования на промышленных предприятиях. Расчет теплообменных аппаратов и установок – очень трудоемкая многовариантная задача, поэтому целесообразно использовать электронно-вычислительные машины (ЭВМ), благодаря которым можно сократить время расчета и повысить качество получаемых результатов.

Различают два вида расчетов поверхностных теплообменных аппаратов: проектный и проверочный. Цель проектного расчета – определение необходимой поверхности теплопередачи, конструктивных размеров аппарата, в котором необходимо осуществить тепловой процесс при заданных условиях. При помощи проверочного расчета устанавливают возможность использования имеющегося в наличии теплообменного аппарата для заданного теплового процесса и определяют условия, обеспечивающие оптимальный режим работы.

Проектный расчет теплообменника включает в себя тепловой, конструкторский, гидравлический, механический и технико-экономический расчеты.

Ниже приведена в общем укрупненном виде блок-схема теплотехнического расчета теплообменника на ЭВМ.

Тепловой расчет теплообменного аппарата – это определение необходимой поверхности теплопередачи для осуществления теплового процесса при заданных условиях.

Поверхность теплообмена F находят из основного уравнения теплопередачи

$$Q = FK\Delta t_{cp}\tau, \quad (1.2)$$

где Q – тепловая нагрузка, Дж; K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); Δt_{cp} – средний температурный напор, К; τ – продолжительности процесса, с.

Если теплообменный аппарат работает непрерывно, то расход теплоты принимается в единицу времени ($\tau=1$) и формула (1.2) принимает вид

$$Q = FK\Delta t_{cp}, \quad (1.3)$$

Как видно из уравнения (1.3), основными расчетными величинами, от которых зависит площадь поверхности теплообмена, являются расход теплоты Q , коэффициент теплопередачи K и средний температурный напор Δt_{cp} .

На рисунке 1.1 представлена блок-схема теплотехнического расчета теплообменника на ЭВМ.



Рисунок 1.1- Блок-схема теплотехнического расчета теплообменника на ЭВМ

Тепловую нагрузку теплообменника и расход теплоносителей находят из уравнений тепловых балансов.

Теплообменные аппараты непрерывного действия могут быть использованы для нагревания или охлаждения рабочих сред, а также для конденсации паров. Для нагревания или охлаждения рабочих сред уравнение теплового баланса имеет следующий вид:

$$G_{об} = G_1 \Delta i_1 = G_2 \Delta i_2 + Q_{пот} \quad (1.4)$$

где $G_{об}$ - общее количество передаваемой тепловой энергии, Вт; G_1, G_2 - массовые расходы горячего и холодного теплоносителей, кг/с; $\Delta i_1, \Delta i_2$ - изменение энтальпий теплоносителей, Дж/кг; $Q_{пот}$ - потери тепловой энергии в окружающую среду от поверхности аппарата, Вт.

Потери теплоты в окружающую среду, если известна площадь наружной поверхности аппарата, можно рассчитать по приближенной формуле

$$Q_{об} = F_{уз} a_c (t_{cm} - t_o), \quad (1.5)$$

где $F_{уз}$ - площадь наружной излучающей поверхности аппарата, м²; a_c - суммарный коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием и конвекцией, Вт/(м²-К); t_{cm}, t_o - температуры соответственно наружной стенки аппарата и окружающей среды, °С.

Однако, при выполнении тепловых расчетов, часто $F_{уз}$ - неизвестная величина, поэтому величиной $Q_{пот}$ задаются в пределах 3...5%. Тогда уравнение теплового баланса будет иметь следующий вид:

$$Q_{об} = G_1 \Delta i_1 = x G_2 \Delta i_2, \quad (1.6)$$

где x — коэффициент, учитывающий потери теплоты в окружающую среду; $x = 1.03... 1.05$.

В зависимости от характера теплообменного процесса изменение энтальпии будет определяться по-разному. Если в процессе теплообмена агрегатное состояние теплоносителей не меняется, то

$$\Delta i = c(t_k - t_n), \quad (1.7)$$

где c - средняя массовая удельная теплоемкость теплоносителей в интервале температур $t_k - t_n$, Дж/(кг-К); $t_k - t_n$ - конечная и начальная температуры теплоносителей, °С или К.

Тогда уравнение (1.6) примет вид

$$Q_{об} = G_1 c_1 (t_{1n} - t_{1k}) = x G_2 c_2 (t_{2k} - t_{2n}), \quad (1.8)$$

Из уравнения (1.8) можно определить массовые расходы теплоносителей

$$G_1 = \frac{x G_2 c_2 (t_{2k} - t_{2n})}{c_1 (t_{1n} - t_{1k})} \quad (1.9)$$

ИЛИ

$$G_1 = \frac{G_1 c_1 (t_{1n} - t_{1k})}{\chi c_2 (t_{2k} - t_{2n})} \quad (1.10)$$

Если в процессе теплообмена агрегатное состояние теплоносителей меняется, то

$$\Delta i = c_n (t_{1n} - t_k) + r + c_k (t_k - t_{1k}) \quad (1.11)$$

где c_n - удельная теплоемкость пара, Дж/кг; t_{1n} - начальная температура пара, °С; t_k - температура конденсации пара, °С; r - удельная теплота парообразования, Дж/кг; c_k - удельная теплоемкость конденсата, Дж/кг; t_{1k} - конечная температура конденсата, °С.

Если в теплообменном аппарате продукт нагревается в результате конденсации водяного пара, то

$$Q_{\text{общ}} = D(i_n - i_k) = \chi G_2 c_2 (i_{2k} - i_{2n}), \quad (1.12)$$

где D - массовый расход греющего пара, кг/с; i_n , i_k - удельные энтальпии греющего пара и конденсата, Дж/кг.

$$D = \frac{\chi G_2 c_2 (t_{2K} - t_{2H})}{t_n - t_K}$$

Если в теплообменном аппарате происходит сначала охлаждение пара, затем конденсация его и охлаждение образовавшегося конденсата, то уравнение теплового баланса выглядит следующим образом:

$$D[c_n(t_{in} - t_k) + r + c_k(t_k - t_{lk})] = \chi G_2 c_2 (t_{2k} - t_{2n}) \quad (1.13)$$

Для аппаратов, работающих периодически, из-за изменения температуры одного из теплоносителей не только во времени, но и вдоль поверхности теплопередачи, вид уравнения теплового баланса будет зависеть от характера самого теплового процесса, т. е. идет процесс нагрева или охлаждения одного из теплоносителей.

Уравнение теплового баланса для процесса периодического нагревания одного из теплоносителей имеет вид

$$Q_{об} = G_1 C_1 (t_{1n} - t_{1cp}) = G_2 c_2 (t_{2k} - t_{2n}) + G_m C_m (t_{mk} - t_{mn}) + Q_{nom}, \quad (1.14)$$

где t_{1cp} - средняя конечная температура греющего теплоносителя; G_m , C_m - масса аппарата и удельная теплоемкость материала; t_{mk} и t_{mn} - конечная и начальная температуры металла аппарата.

Для теплового процесса охлаждения одного из теплоносителей уравнение теплового баланса имеет вид

$$Q_{об} = G_1 c_1 (t_{1n} - t_{1k}) + G_m c_m (t_{mn} - t_{mk}) = G_2 c_2 (t_{2cp} - t_{2n}) - Q_{nom} \quad (1.15)$$

где t_{2cp} - средняя конечная температура охлаждающего теплоносителя.

Если в аппарате происходит выпаривание жидкости, то расход теплоты

$$Q = W\dot{r}, \quad (1.16)$$

где W - количество выпариваемой жидкости; r - удельная теплота парообразования.

При испарении жидкости с открытой поверхности

$$W = K_{исп} F_{исп} (p_{ж} - \varphi p'_{ж}) \tau \quad (1.17)$$

где $K_{исп}$ - коэффициент испарения, зависящий от свойств жидкости и скорости движения воздуха, кг/(м·с·Па); $F_{исп}$ - площадь поверхности испарения, м²; $p_{ж}$ - упругость насыщенных паров жидкости при данной температуре, Па; (φ - относительная влажность воздуха; $p'_{ж}$ - упругость насыщенных паров жидкости при температуре окружающей среды, Па; τ - продолжительность процесса, с.

Для воды и водных растворов

$$K_{исп} = \frac{0.0745}{3600 \cdot 133} (\nu \rho)^{0.8} \quad (1.18)$$

где ν скорость движения воздуха, м/с; ρ - плотность воздуха, кг/м³.

$\nu, \text{м/с}$	0,5	1,0	1,5	2,0
$K_{исп}$	129	289	408	20

При выпаривании растворов

$$W = G \left(1 - \frac{n}{m}\right) \quad (1.19)$$

где G - масса раствора до выпаривания, кг; n и m — соответственно начальная и конечная концентрации раствора, %.

Коэффициент теплопередачи рассчитывают с учетом конструкции теплообменного аппарата, т. е. имеет значение способ передачи тепловой энергии: через плоскую или цилиндрическую стенку.

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

$$K = 1 \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} + R_{заг} \right), \quad (1.20)$$

для цилиндрической стенки

$$K = 1 / \left\{ d_{cp} \left[\left(\frac{1}{\alpha_1 d_B} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_H}{d_B} + \frac{1}{\alpha_2 d_H} \right) \right] + R_{заг} \right\}, \quad (1.21)$$

для ребристой стенки

$$K = 1 / \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{F_1}{F_2} + R_{заг} \right), \quad (1.22)$$

где α_1 и α_2 - коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м²·К); δ - толщина стенки, м; λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); $R_{\text{заг}}$ - термическое сопротивление загрязнению собоих сторон стенки; м²·К/Вт; d_n , d_{cp} , d_g - наружный, средний и внутренний диаметры цилиндрической стенки, м; F_1 и F_2 — площади оребренной и гладкой поверхностей, м².

Влияние загрязнений на коэффициент теплопередачи учитывают и при помощи коэффициента использования поверхности теплообмена. При этом действительный коэффициент теплопередачи

$$K_d = \varphi K, \quad (1.23)$$

где $\varphi = 0,7..0,8$.

Для ориентировочной оценки значения коэффициента теплопередачи можно пользоваться табл. 1.2.

Таблица 1.2- Ориентировочные значения коэффициента теплопередачи, Вт/(м²·К)

Теплопередача	Для вынужденного движения	Для свободного движения
От газа к газу	10...40	4...12
От газа к жидкости	10...60	6...12
От конденсирующего пара:		
к воде	800...3500	300...1200
к органическим жидкостям	120...340	60...170
к кипящей жидкости	-	300...2500
От жидкости к жидкости		
для воды	800...1700	140...340
для органических жидкостей	120...270	30...60

Для анализа работы теплового аппарата или определения путей увеличения его тепловой производительности недостаточно знать значение величины K , надо знать также значения термических сопротивлений.

Если значения величин $1/a_1$, $1/a_2$ и δ/λ примерно одного порядка, то для увеличения K нужно уменьшить любое или каждое термическое сопротивление. Если частные термические сопротивления различны, то для увеличения K нужно уменьшить только наибольшее частное термическое сопротивление.

Большими термическими сопротивлениями, ощутимо влияющими на коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи, обладают пленка конденсата на поверхности, соприкасающейся с конденсирующимся паром, и пограничный слой продукта на поверхности нагрева, соприкасающийся с продуктом. Объясняется это малым коэффициентом теплопроводности пленок. Так, при 20°С для воды $\lambda=0,59$ Вт/(м·К), для томатной пасты $\lambda=0,22$ Вт/(м·К). Пленка толщиной 1 мм снижает при определенных условиях коэффициент теплопередачи в 3...10 раз.

При нагревании вязких, полужидких пищевых продуктов максимальным термическим сопротивлением чаще всего является величина $1/a_2$ из-за малых значений α_2 для таких сред. Однако в поверхностных конденсаторах максимальным термическим сопротивлением может быть величина δ/λ .

Чтобы уменьшить наибольшее термическое сопротивление, нужно увеличить скорость перемещения продукта вдоль поверхности нагрева, перемешивать продукт, исключить образование нагара, подобрать соответствующие температуру греющего пара и давление над продуктом, быстро и полно удалять из нагревательной камеры конденсат и неконденсирующиеся газы.

При пастеризации, стерилизации в воде, мойке тары, бланшировании и других процессах для подогрева воды часто применяют барботирование пара в воду. При этом несколько упрощается конструктивное выполнение теплового оборудования, сокращается время подогрева, легко регулируется заданная температура воды.

Средний температурный напор (разность температур) – движущая сила теплового процесса. При теплопередаче в теплообменниках разность температур между теплоносителем не сохраняет постоянного значения вдоль поверхности теплообмена. Поэтому в тепловых расчетах аппаратов пользуются средней разностью температур.

В теплообменных аппаратах в зависимости от направления движения теплоносителей различают прямоток, противоток и однократно (многократно) перекрестный, параллельно (или последовательно) смешанный ток. При этом возможны различные случаи (в основном три) температурных режимов работы теплообменников:

температуры обоих теплоносителей непрерывно и одновременно изменяются, например нагревание или охлаждение жидкостей без изменения агрегатного состояния;

температура греющего теплоносителя сохраняется постоянной, а рабочей среды – непрерывно изменяется;

температуры обоих теплоносителей остаются постоянными, например кипение жидкости, конденсация пара при постоянном давлении.

Средний температурный напор определяется как среднелогарифмическая разность

$$\Delta t_{cp} = (\Delta t_6 - \Delta t_M) / (\ln \Delta t_6 / \Delta t_M), \quad (1.24)$$

где Δt_6 и Δt_M – большая и малая разности между температурами теплоносителей, °С.

Если $\Delta t_6 / \Delta t_M < 2$, то средний температурный напор можно определить как среднеарифметическую величину

$$\Delta t_{cp} = (\Delta t_6 + \Delta t_M) / 2, \quad (1.25)$$

При смешанном или перекрестном токе движения теплоносителей средний температурный напор

$$\Delta t_{\text{ср}} = \Delta t_{\text{ср}} \varepsilon \quad (1.26)$$

где ε - поправка, которая зависит от направления потоков и температуры теплоносителей.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие тепловые процессы используют в консервной промышленности?
2. Какие теплофизические свойства продуктов влияют на процесс теплообмена?
3. Какие теплоносители применяют в пищевых производствах? Дайте краткую характеристику их.
4. Как рассчитать поверхность теплообмена?
5. Составьте уравнение теплового баланса для различных случаев теплообменного процесса.
6. Как рассчитать расход теплоносителей?
7. Как рассчитать коэффициент теплопередачи?
8. Как определить средний температурный напор?
9. Рассмотрите способы интенсификации процессов теплообмена.

ГЛАВА 2

2.1 Оборудование для бланширования, разваривания и подогревания

Предварительную тепловую обработку сырья проводят в горячей воде, водных растворах поваренной соли, щелочи, кислоты, в среде водяного пара и путем соприкосновения с поверхностью нагрева. При этом температура продукта повышается до 85...96°C, продолжительность тепловой обработки определяется скоростью протекающих тепловых, химических, биохимических процессов и составляет от нескольких секунд до 15 мин.

Тепловые аппараты для предварительной обработки продуктов в зависимости от способа нагревания можно классифицировать как бланширователи, развариватели и подогреватели. Аппараты каждой из этих групп можно разделить на следующие виды аппаратов: периодического и непрерывного действия; работающие при атмосферном давлении, вакууме и под избыточным давлением; с нагревательной камерой и барботерами.

При использовании аппаратов с двухстенной нагревательной камерой необходимо соблюдать следующие правила:

- содержать предохранительные клапаны в исправности, т. е. продувать не реже 2 раз в смену;
- не перегружать рычажные предохранительные клапаны;
- следить за исправностью редукционных клапанов (вентилей) по манометру, установленному после клапанов;
- исключать работу поворотных двухстенных котлов в наклонном положении;
- не допускать в аппаратах с мешалками истирания лопастями поверхности нагрева, что может снизить прочность ее из-за уменьшения толщины стенки;
- подвергать нагревательную камеру ежегодному гидравлическому испытанию в соответствии с допускаемым давлением при работе.

Перед эксплуатацией подогревателя с трубчатой нагревательной камерой необходимо его кожух подвергнуть гидравлическому испытанию (даже при низких рабочих давлениях пара). Крышки, закрывающие трубные решетки, перед пуском пара тщательно зажимают барашками. Во избежание переполнения камеры конденсатом и возможных гидравлических ударов обводные вентили на конденсатоотводчиках перед пуском пара следует открыть. Предохранительный клапан должен находиться в исправном состоянии, для чего его систематически продувают и оберегают от увеличения груза.

2.2 Бланширователи

Бланширование проводят в горячей воде, растворе соли или кислоты, а также в среде водяного пара. Цели этого процесса следующие:

- сохранение естественного цвета продукта, что достигается разрушением окислительных ферментов под влиянием сравнительно высоких

температур, или изменение его в соответствии с предъявляемыми требованиями по качеству;

- уменьшение объема продуктов и приобретение ими упругости для обеспечения полного и плотного заполнения банок;
- удаление воздуха из тканей продуктов и создание условий для лучшего сохранения витаминов и ослабления коррозии жестяных банок;
- разрушение плазматического слоя для облегчения последующего отжима сока на прессах;
- увеличение проницаемости оболочки плодов и овощей и облегчение диффузии сахара при варке варенья;
- частичное уничтожение микроорганизмов, главным образом находящихся на поверхности сырых продуктов (дрожжи, плесневые грибы);
- облегчение удаления кожуры плода.

Плоды и овощи бланшируют в целом виде и в виде кусков. Для снижения потерь растворимых веществ бланширование проводят в водном растворе соли или в среде водяного пара.

Воду при бланшировании обычно подогревают барботированием пара в нее. При бланшировании в среде пара последний через барботеры подается в камеру с продуктом. Продукт при бланшировании непосредственно соприкасается с водой (раствором солей, кислот) или с паром.

Ленточные бланширователи, как водяные, так и паровые, применяют для бланширования перца, зеленого горошка, капусты, кукурузы, картофеля и других продуктов.

Ленточный бланширователь имеет транспортирующее устройство, которое состоит из двух цепей, являющихся тяговым органом, и ленты – несущего органа, укрепленного на этих цепях. Бланширование продукта происходит на ленте, расположенной в металлической ванне с водой (раствором соли, кислоты) либо проходящей через закрытую камеру, заполненную паром.

В бланширователе ленточный транспортер 2 (рис. 2.1,а) может быть размещен в ванне 3, заполненной водой. К цепям ленты прикреплены планки 1 для удержания продукта при подъеме его в место выгрузки. Четыре трубки барботера установлены в ванне между рабочей и холостой ветвями транспортера; в них подается пар давлением до 0,4 МПа. При выгрузке продукт охлаждается водой, выходящей из сопел.

В ленточном бланширователе (рис. 2.1,б) только рабочая ветвь ленты проходит через ванну 3 с водой; холостая часть ленты движется под ванной. В этом случае ее высота может быть несколько снижена. Как и в первом случае, барботеры расположены в ванне под лентой.

При бланшировании паром часть рабочей ветви ленты 1 (рис. 2.1, в, г) проходит через закрытую паровую камеру 2, в которой над лентой и под ней находятся трубки, барботирующие пар. При перемещении через камеру ленты с плодами последние подвергаются воздействию острого пара, выходящего из барботера, и подогреваются. Давление пара до вентиля равно обычно 0,3 МПа, в паровой камере – 0,4 МПа, что соответствует 100°С.

При бланшировании продуктов в растворах солей или кислот вместо барботеров устанавливают змеевики, в которые подается пар. Для охлаждения продукта после бланширования в месте выхода ленты из камеры над лентой перпендикулярно к ее движению размещают трубы, распыливающие воду.

Продолжительность (τ) бланширования продукта регулируется скоростью движения ленты транспортера:

$$\tau = l / v ,$$

где: l - длина той части ванны или паровой камеры, на которой находился продукт в воде или паре, м; v - скорость движения ленты, м/с.

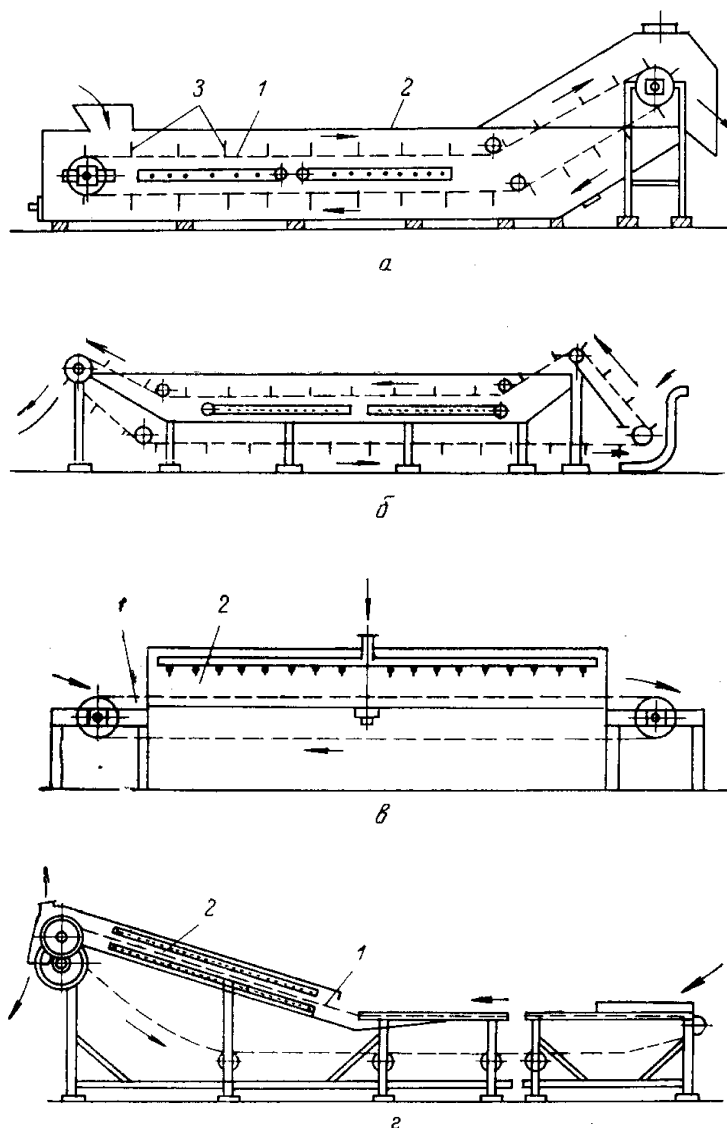


Рисунок 2.1- Схемы ленточных бланширователей

По формуле (2.1) определяют также скорость движения ленты, если известна продолжительность бланширования. Обычно скорость движения ленты 0,01...0,15 м/с.

Производительность ленточного бланширователя (кг/с)

$$P=Bhv\rho K, \quad (2.2)$$

где B - ширина ленты, м; h - средняя высота слоя, м; v - скорость движения ленты, м/с; ρ - насыпная масса продукта, кг/м³; K - коэффициент заполнения ленты ($K=0,75..0,9$).

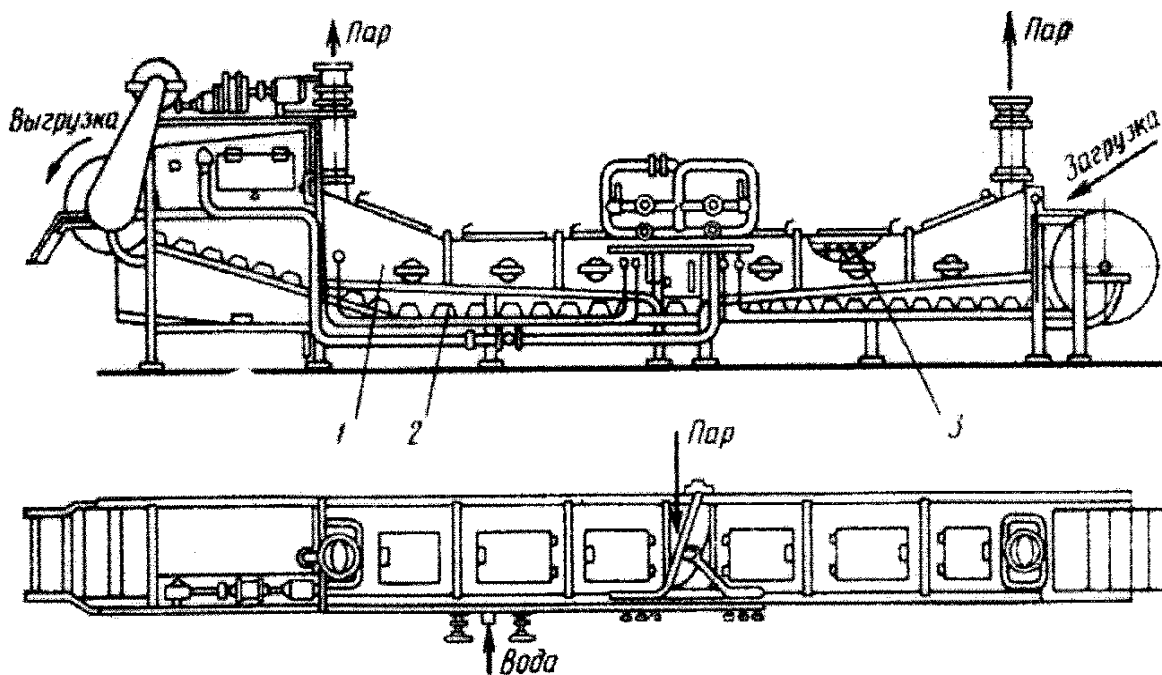


Рисунок 2.2 - Бланширователь БК

Ковшовые ленточные бланширователи марки БК (рис. 2.2) применяют для бланширования в паре и воде зеленого горошка, капусты, шпината, моркови, картофеля; при этом плоды полностью сохраняют свою целостность. Бланширователь состоит из ванны 1 и ленточного транспортера, образованного из двух цепей, к которым шарнирно прикреплены ковши 2. Для подвода пара над лентой и под ней установлены барботеры 3.

Производительность бланширователя в зависимости от условий работы может быть 0,14...2,24 кг/с, в частности: по шпинату 0,33, гороху 0,56, моркови 0,32 кг/с. Расход воды 0,05 л/с. Мощность электродвигателя 1,7 кВт. Частота вращения вала 140 рад/с.

Производительность ковшового бланширователя (кг/с)

$$P=vm/a, \quad (2.3)$$

где v - скорость движения ковша, м/с; a - расстояние между центрами ковшей, м; m - масса продукта в одном ковше, кг.

Барабанный бланширователь показан на рис. 2.3. Основной рабочий орган его — барабан 3, изготовленный из листовой стали с отверстиями по поверхности (диаметр отверстий 3...4 мм).

При вращении барабана продукт при помощи спирали 4, укрепленной на внутренней стенке его, перемещается в горячей воде от места загрузки к месту выгрузки. Продолжительность бланширования регулируется частотой

вращения барабана. В месте выгрузки продукта спираль заканчивается лопастями, захватывающими продукт и выбрасывающими его в разгрузочный желоб.

При частоте вращения барабана $2,5 \text{ мин}^{-1}$ производительность бланширователя, например, по зеленому горошку $0,7...0,84 \text{ кг/с}$. Потребная мощность $1,5 \text{ кВт}$. Габаритные размеры $5700 \times 1340 \times 1756 \text{ мм}$.

Недостатки бланширователя: отсутствие устройств, автоматически регулирующих и поддерживающих требуемую температуру воды; неудобство очистки отверстий в барабане; механические повреждения продукта при выгрузке, увеличивающие потери, особенно когда толщина продукта в барабане увеличивается.

Барабанный бланширователь фирмы «Мазер и Плэтт» (Англия) имеет

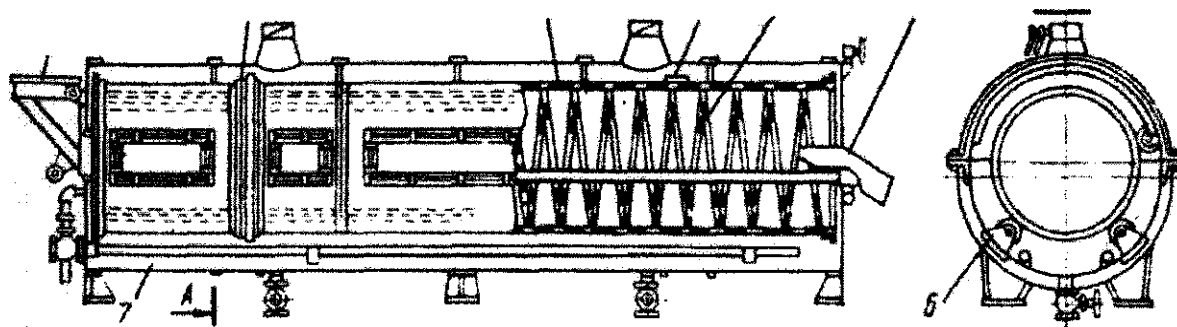


Рисунок 2.3 - Барабанный бланширователь:

1 - загрузочный бункер; 2 - стальные кольца; 3 - барабан;

разъемный барабан, укрепленный на горизонтальном валу.

Верхний кожух при необходимости очистки барабана поднимают при помощи троса и блока. Бланширователь снабжен терморегулятором, поддерживающим заданную температуру воды. Благодаря наличию вариатора частоты вращения барабана можно изменять продолжительность бланширования с $1,5$ до 12 мин ($90...720 \text{ с}$). Производительность бланширователя 3600 кг/ч (1 кг/с) по зеленому горошку.

В шнековых бланширователях основной рабочий орган – шнек, перемещающий продукт. При бланшировании в горячей воде шнек бланширователя установлен горизонтально, в среде водяного пара – вертикально или несколько наклонно. Через полый вал шнека пар подается в желоб, где находятся продукт или вода и продукт.

При частоте вращения от $2,5$ до 12 мин^{-1} шнек перемещает продукт от загрузочного конца желоба к разгрузочному. Продолжительность бланширования зависит от длины шнека и частоты его вращения. На производительность бланширователя влияют размеры витка шнека и частота его вращения; производительность увеличивается пропорционально этим показателям.

При бланшировании зеленого горошка в среде пара в течение $2...5 \text{ мин}$ производительность вертикального шнекового бланширователя составляет 3500 кг/ч .

При тепловом расчете бланширователей определяют расход теплоносителя (пара) и охлаждающей воды, а также площадь поверхности нагрева в бланширователях, где процесс осуществляется в растворе соли, кислоты или щелочи. Определим секундный расход теплоты при работе бланширователя с подогревом воды посредством барботирования пара.

Расход теплоты на нагревание продукта (Вт)

$$Q_1 = Gc(t_2 - t_1), \quad (2.4)$$

где G - масса нагреваемого продукта, кг/с; c - удельная теплоемкость продукта, Дж/(кг·К); t_1 и t_2 - средняя начальная и конечная температуры продукта, °С (t_2 принимают на 2...3°С ниже температуры греющей среды).

Расход теплоты на испарение влаги с поверхности зеркала воды (Вт)

$$Q_2 = F_{исп} K_{исп} (\rho_1(\varphi p_2) r), \quad (2.5)$$

где $F_{исп}$ - площадь поверхности испарения воды, м²; $K_{исп}$ - коэффициент испарения, кг/(м²·с·Па).

$$K_{исп} = \frac{0,0}{3600 \cdot 133}, \quad (2.6)$$

где v - скорость движения воздуха, м/с; ρ - плотность воздуха, кг/м³; p_1, p_2 - упругости паров воды соответственно при температуре испарения и температуре воздуха, Па; φ - относительная влажность воздуха ($\varphi = 0,7$); r - теплота испарения, соответствующая температуре бланширования, Дж/кг.

Если бланширователь плотно закрыт крышкой, то этот расход теплоты не учитывают расход теплоты на подогрев воды, доливаемой в ванну бланширователя (Вт),

$$Q_3 = W_B c(t_4 - t_3), \quad (2.7)$$

где W_B - масса доливаемой воды, кг/с; c - удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К); t_3 и t_4 - начальная и конечная температуры доливаемой воды, °С.

Расход теплоты Q_3 на подогрев доливаемой воды учитывают в том случае, когда количество конденсата меньше количества испаряющейся воды.

Расход теплоты на нагрев ленты транспортера (Вт)

$$Q_4 = G_T C_T (t_7 - t_6), \quad (2.8)$$

где G_T - масса ленты транспортера, входящей в нагретую воду, за единицу времени, кг/с; ($G_T = v G_{y0}$, здесь v - скорость движения ленты, м/с; G_{y0} - масса 1 м ленты, кг/м); C_T - удельная теплоемкость ленты транспортера, Дж/(кг·К); t_6 и t_7 - конечная и начальная средние температуры ленты транспортера, °С.

Расход теплоты на компенсацию потерь в окружающую среду путем лучеиспускания и конвекции (Вт)

$$Q_5 = F \alpha_o (t_{cm} - t_e), \quad (2.9)$$

где F - площадь поверхности ванны, соприкасающейся с воздухом, м ; α_0 - суммарный коэффициент теплоотдачи конвекцией и излучением, Вт/(м²-К); t_{cm} - средняя температура поверхности стенки ванны, °С; t_b - температура воздуха, °С.

Общий расход теплоты (Вт) равен сумме отдельных статей расхода:

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (2.10)$$

При бланшировании продукта в среде пара общий расход теплоты (Вт)

$$Q_{общ} = Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 + Q'_4$$

где Q'_1 - расход теплоты на подогрев продукта; Q'_2 - расход теплоты на нагрев ленты транспортера; Q'_3 - расход теплоты на компенсацию потерь в окружающую среду путем лучеиспускания и конвекции; Q'_4 - потери теплоты из-за утечки пара вследствие негерметичности аппарата.

Потери теплоты Q'_4 нельзя определить расчетом, они обуславливаются конструкцией бланширователя и режимом его работы. Исследованиями установлено, что потери теплоты из-за утечки пара составляют от суммы первых трех статей расхода теплоты в ленточном бланширователе с вытяжной трубой 50... 100%, без вытяжной трубы 10...20%. Таким образом,

$$Q_4 = \frac{(Q'_1 + Q'_2 + Q'_3)b}{100 - b}$$

где b — потери теплоты, %.

Зная общий расход теплоты при бланшировании, находим расход пара (кг/с)

$$D = Q_{общ} / (i - i_k) \quad (2.12)$$

где i — удельная энтальпия греющего пара, Дж/кг; i_k — удельная энтальпия конденсата, Дж/кг (числовое значение i_k равно температуре воды или пара в бланширователе).

Значение i зависит от давления до регулирующего вентиля с учетом влажности пара и определяется по диаграмме $T - S$ либо по формуле

$$i = i' + rx,$$

где i' - теплота испарения жидкости, Дж/кг; r - теплота парообразования, Дж/кг; x - степень сухости пара (обычно $x = 0,92 \dots 0,95$).

В тех случаях, когда бланширование продукта ведется в водном растворе соли, кислоты или щелочи с подогревом через поверхность нагрева, числовое значение удельной энтальпии конденсата принимают равным температуре греющего пара или меньше ее на 5...8 °С. Площадь поверхности нагрева (м²) таких бланширователей определяют из общего уравнения теплопередачи, принимая при этом $t = 1$ с:

$$F = Q_{обш} / (K \Delta t), \quad (2.13)$$

где K - коэффициент теплопередачи, Вт/(м²К); Δt -разность между температурами пара и греющей среды, °С.

Расход охлаждающей воды (кг/с)

$$W_{охл} = \frac{Gc(t_2 - t_5)}{(t_k - t_n)c_B} \quad (2.14)$$

где: c - удельная теплоемкость продукта, Дж/(кг·К); t_2 - температура продукта до охлаждения, °С; t_5 - температура продукта после охлаждения, °С; t_n и t_k - начальная и конечная температуры охлаждающей воды, °С; c_B -удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К); $c_B=4190$ Дж/(кг·К).

Практически установлено, что расход охлаждающей воды составляет 2...4 кг/кг продукта.

2.3 Развариватели

Развариванию водяным паром продукт подвергают для размягчения его ткани перед протиранием при изготовлении фруктового или овощного пюре, повидла и детских консервов.

З а к р ы т ы й р а з в а р и в а т е л ь (рис. 2.4) в конусной части 7 имеет ложное (дырчатое) днище 6. Пар давлением 0,2 МПа подводится через два штуцера 5 в пространство между корпусом аппарата и ложным днищем. Пройдя через отверстия в днище, пар попадает в рабочую часть аппарата. На вертикальном валу 4 укреплены лопастная мешалка 3 и шнек 2, перемешивающие обрабатываемый продукт.

Во время работы разваривателя через бункер 1 загружают до 2000 кг сырья. Задвижку плотно закрывают и через штуцер 5 подают пар при одновременном выпуске воздуха через кран до появления струи пара. После этого кран закрывают и доводят давление пара до 0,2 МПа. Когда в шпарителе достигнута нужная температура (105... 110 °С), включают мешалку 3 (частота вращения 40 мин⁻¹).

Собственно шпарка продолжается 15...25 мин в зависимости от вида сырья, его зрелости и размеров, а также от вида изготавливаемых консервов. По окончании шпарки закрывают вентили, через которые поступает пар, открывают задвижку 8 и выгружают массу в протирочную машину.

Производительность периодически действующего закрытого шпарителя (кг/с)

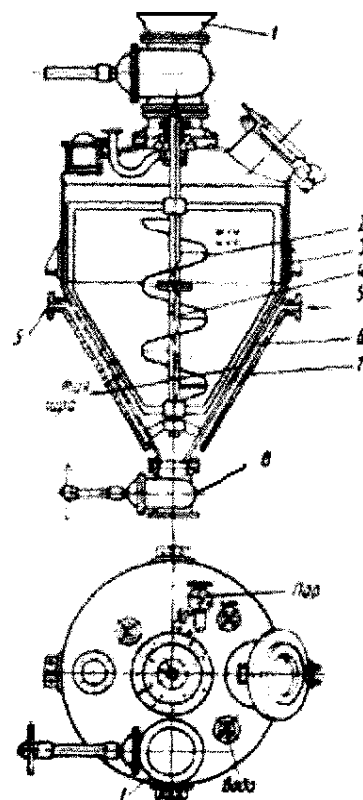


Рисунок 2.4 - Закрытый развариватель

$$P = V\varphi\rho/\tau \quad (11.15)$$

где V - полная вместимость аппарата, м³; φ - коэффициент заполнения аппарата ($\varphi=0,8$); ρ - насыпная масса продукта, кг/м³; τ - продолжительность цикла работы аппарата, с (τ - равна сумме времени загрузки, подогрева, шпарки, выгрузки и мойки).

Шнековый развариватель непрерывного действия применяют для разваривания косточковых (вишня, абрикосы) и семечковых (яблоки) плодов. Достоинство разваривателя — непрерывность процесса, поэтому за сравнительно короткий отрезок времени (4...5 мин) плоды хорошо размягчаются. Однако при этом весь конденсат в аппарате смешивается с продуктом и разжижает его.

Шнековый развариватель состоит из одного или двух металлических желобов, расположенных один над другим и закрытых сверху герметическими крышками. В каждый желоб помещен шнек с полым валом, в котором имеются отверстия диаметром 5 мм. Продукт, подлежащий развариванию, загружают в бункер. Далее вращающийся шнек перемещает его к противоположному концу желоба, откуда он по соединительному рукаву попадает в нижний желоб и перемещается к выгрузочному лотку. Пар в полые валы подается по паропроводу.

Производительность шнекового разваривателя (кг/с)

$$P = \frac{\pi D^2}{4} S \omega \varphi \rho \frac{1}{2\pi} = \frac{D^2}{8} S \omega \varphi \rho \quad (2.16)$$

где D и S - диаметр и шаг шнека, м; ω - угловая скорость шнека, рад/с; φ - коэффициент заполнения желоба ($\varphi=0,3...0,4$); ρ - насыпная масса, кг/м³.

Продолжительность шпарки (с)

$$\tau = l/Sn\eta, \quad (2.17)$$

где l - длина шнека, м; n - частота вращения шнека, рад⁻¹; η - коэффициент, учитывающий скольжение и торможение продукта при движении ($\eta=0,9$).

Шпаритель со шнеком диаметром 385 мм и шагом 335 мм при частоте вращения шнека 1,44 мин⁻¹ имеет производительность около 0,28 кг/с. Мощность электродвигателя 3 кВт. Габаритные размеры шпарителя 2500x485x1630 мм.

Ленточный развариватель предназначен для обработки паром нарезанных овощей перед сушкой. Наклонно установленная лента 2 (рис. 2.5) из проволочной сетки движется внутри металлического корпуса 4. Над лентой, в начале и конце ее, размещены душевые устройства 3 и 6 соответственно для ополаскивания продукта и охлаждения его после пропаривания. Между рабочей и холостой частями ленты расположены трубы 5, барботирующие пар. В барботеры поступает пар давлением до 0,3 МПа. Шнек 1 подает продукт на ленту разваривателя. Продукт, перемещаясь вместе с

лентой, сначала ополаскивается, затем шпарится и после охлаждения выгружается.

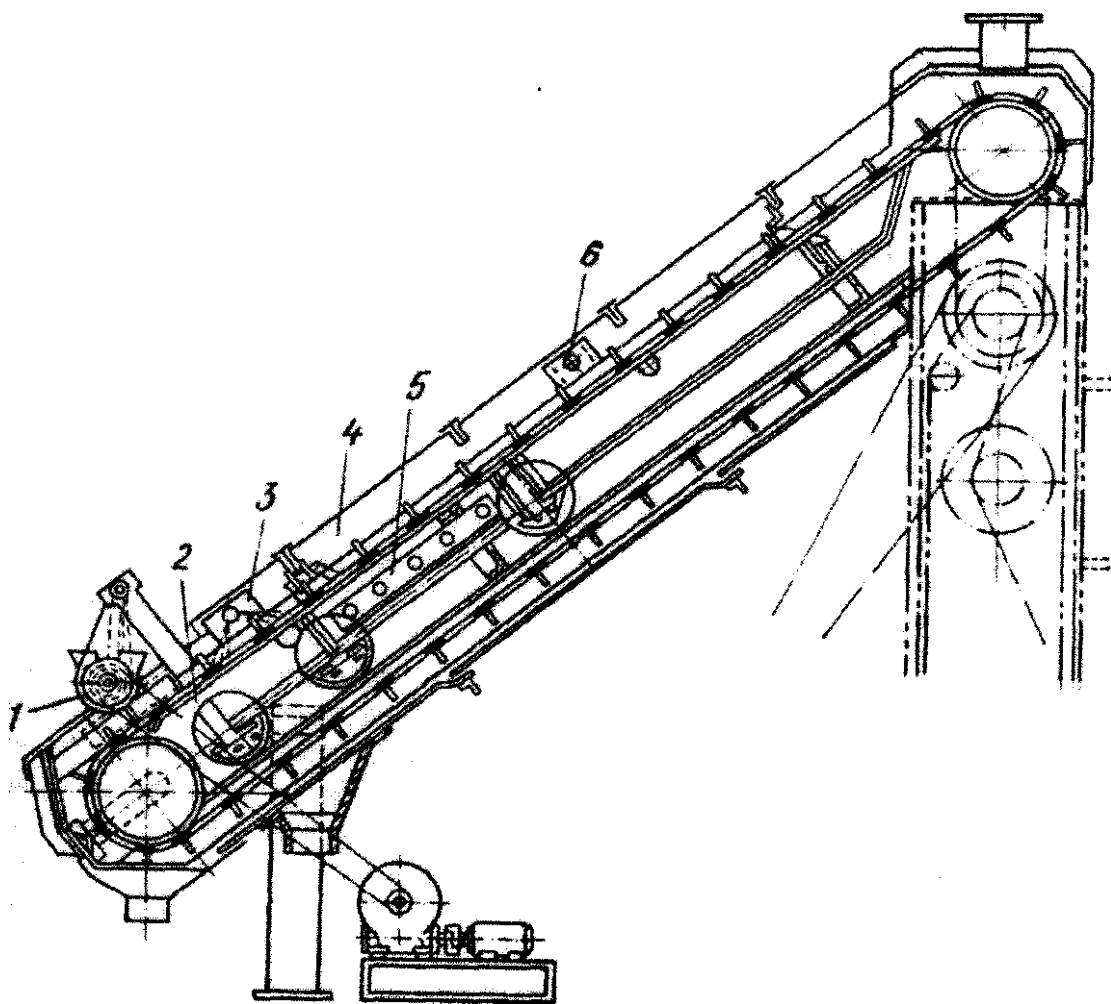


Рисунок 2.5 - Ленточный развариватель

Производительность аппарата зависит от скорости движения ленты, ширины и толщины слоя продукта. Для картофеля, нарезанного столбиками, при ширине 1250 мм и толщине слоя продукта 30 мм производительность разваривателя составляет 200 кг/ч. Мощность электродвигателя 1 кВт. Габаритные размеры 2950x1500x820 мм. Масса аппарата 655 кг.

Такое же устройство имеет шпаритель БКП-400 производительностью 0,112 кг/с.

Расчет разваривателей проводят следующим образом. Определяют полный расход теплоты $Q_{\text{общ}}$ на работу разваривателей, состоящий из следующих статей: Q_1 — расход теплоты на нагрев продукта; Q_2 — расход теплоты на нагрев аппарата (эту статью определяют в том случае, если аппарат металлический и работает периодически); Q_3 — потери теплоты в окружающую среду из-за лучеиспускания и конвекции; Q_4 — потери теплоты из-за утечки пара вследствие негерметичности аппарата.

Потери теплоты Q_4 не поддаются учету и зависят от конструкции разваривателя и режима работы. Исследованиями установлено, что из-за утечки пара потери теплоты составляют от суммы первых трех статей расхода теплоты:

в шпарочном чане 20...50%, в закрытом разваривателе 1...2, в шнековом 5...10, в ленточном с вытяжной трубой 50... 100, в ленточном без вытяжной трубы 10...20%. Таким образом, потери теплоты из-за утечки

$$Q_4 = \frac{(Q'_1 + Q'_2 + Q'_3)b}{100 - b}, \quad (2.18)$$

где b — потери теплоты, %.

В соответствии с тепловым балансом расход пара (кг/с)

$$D = Q_{\text{общ}} / (i - i_k) \quad (2.19)$$

В данном случае числовое значение энтальпий конденсата i_k принимают равным температуре шпарки, т. е. 98... 100° С, энтальпию греющего пара i — равной энтальпии пара перед регулировочным вентилем (давление 0,3...0,4 МПа, степень сухости 92...95%).

По данным ВНИИКОПа, расход пара в закрытых разваривателях составляет в среднем 0,23 кг на 1 кг продукта, в шпарителях БКП-200 и БКП-400 — 0,375 кг на 1 кг продукта.

2.4 Подогреватели

Дробленые томаты, томатную пасту, фруктовый сок подогревают в поверхностных теплообменниках. Подогрев таких продуктов необходим для облегчения отделения кожицы, прекращения жизнедеятельности микроорганизмов перед фасовкой в тару, коагуляции белковых веществ и интенсификации последующего процесса.

Вследствие того что пищевые продукты обладают большой вязкостью, наибольшими термическими сопротивлениями при подогреве обычно являются сопротивления от стенки к продукту и термическое сопротивление слоя нагара. Чтобы уменьшить эти термические сопротивления в подогревателях, стремятся увеличить скорость движения продукта, установить интенсивное перемешивание, принять меры, предотвращающие образование нагара.

Двухстенный котел состоит из двух полостей: открытой, в которой помещают продукт, подвергающийся нагреванию, и герметически закрытой — паровой камеры. Поверхность нагрева — это часть паровой камеры, соприкасающаяся с продуктом. Наружная поверхность камеры не участвует в полезном теплообмене, однако она имеет высокую температуру, поэтому для снижения потерь теплоты в окружающую среду наружную поверхность камеры покрывают изоляционным материалом.

Подвод пара в паровую камеру и отвод из нее конденсата в опрокидывающихся, а иногда и в стационарных котлах производят через полые патрубки, на которых закреплена чаша. Патрубки соединены с трубопроводами при помощи сальниковых уплотнений. Для отвода конденсата внутри паровой камеры установлена изогнутая трубка, один конец ее соединен с опорным патрубком, а другой находится в нижней части паровой камеры. Там же имеется

продувочный кран для отвода скапливающегося воздуха и остатков конденсата. Во избежание разбрызгивания продукта при кипении на чаше установлен козырек.

Двухстенные котлы (табл. 2.1) рассчитаны на давление пара 0,4...0,6 МПа. Коэффициенты теплопередачи в двухстенном котле вместимостью 350 л при подогреве без перемешивания составляют [Вт/(м²-К)]: для бульона 700...870, заливки 580...810, рассола 907. При перемешивании коэффициент теплопередачи увеличивается примерно на 50%.

На аппарате должны быть установлены предохранительный клапан и манометр, по показаниям которого при помощи вентиля регулируют давление пара.

Таблица 2.1 -Техническая характеристика двухстенных котлов

Показатели	Вместимость котла, л		
	500	300	150
Площадь поверхности нагрева, м ²	2,7	1,8	1,0
Давление пара, МПа	0,4	0,5	0,6
Мощность мешалок, кВт	0,3	-	-
Габаритные размеры, мм	2085x1060x1470	1300x1000x1500	1280x400x1225
Масса, кг	620	500	490

Двухстенные котлы, изготовленные из красной меди или из ее сплавов, покрывают в местах соприкосновения с продуктом защитной пленкой (эмалью). Высокими качествами обладают двухстенные котлы из нержавеющей стали, в них часто устанавливают мешалки якорного типа.

Недостатки двухстенных котлов:

- при толщине стенки до 10 мм давление пара в котле должно быть более 0,3...0,6 МПа в зависимости от диаметра котла;
- неравномерная интенсивность теплообмена на поверхности нагрева: наибольшая в верхней части котла и крайне низкая в нижней части (днище), где толщина пленки конденсата максимальная; интенсивность теплообмена особенно велика в местах входа пара в нагревательную камеру, так как здесь скорость пара максимальная;
- недостаточная интенсивность теплообмена, на которую значительно влияют диаметр котла, давление греющего пара, способы подвода пара и отвода конденсата, форма котла, степень отвода воздуха из паровой камеры.

Подогреватель ВНИИКОП-2 может быть использован также в качестве вакуум-аппарата, сборника, дозатора, вакуум-охладителя и смесителя. Устанавливают его в линиях производства томатного пюре и томатной пасты, детских консервов, томатных соусов, джема и повидла. Все части подогревателя, соприкасающиеся с продуктами, изготовлены из нержавеющей стали.

В нижней части корпуса 4 подогревателя (рис. 2.6) размещена двухстенная паровая камера 7, в верхней части — цилиндрический корпус с конусной крышкой. Внутри подогревателя устроена якорная мешалка 6, приводимая в движение электродвигателем 1 через редуктор. Подогреватель имеет два штуцера 5 для подвода пара, штуцер для вывода конденсата, загрузочные штуцера 3, отверстие 8 для выгрузки продукта, ловушку 2, осветительное стекло, штуцера: для удаления пара (или создания вакуума), для сжатого воздуха, а также мановакуумметр, термометр, предохранительный клапан.

Рабочая вместимость аппарата, при которой поверхность нагрева полностью покрыта продуктом, составляет 750...1000 л. В двухстенную нагревательную камеру с поверхностью нагрева 3,7 м подводится пар под давлением до 0,4 МПа.

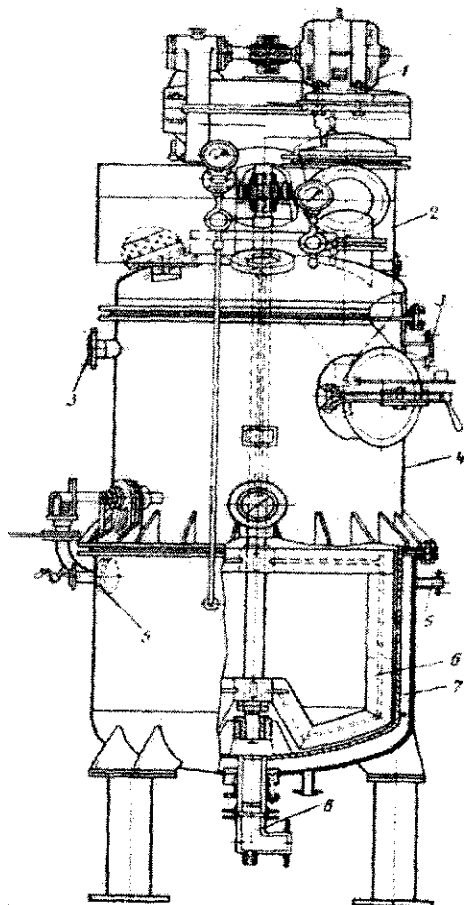


Рисунок 2.6 - Подогреватель ВНИИКОП-2

В аппарате ВНИИКОП-2 при подогревании томатного пюре, перемешивании его якорной мешалкой с частотой вращения 40 мин^{-1} и давлении греющего пара 0,3 МПа коэффициент теплопередачи $990 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{-К})$; при подогревании томатной пасты и том же режиме обработки — $930 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{-К})$. Габаритные размеры аппарата 1875x1510x4040 мм.

Подогреватель КПЖ со спиральным вращающимся змеевиком для дробленой массы представляет собой внутренний цилиндр 1 (рис. 2.7) из нержавеющей стали, расположенный в стальном кожухе 2, диаметр которого на 200 мм больше диаметра цилиндра. С торцевых сторон цилиндр 1 и кожух 2 соединены и закрыты крышками 5; через них проходит полый вал 3; к нему прикреплен спиральный змеевик 4 из нержавеющей стали, предназначенный для перемешивания томатной массы и являющийся одновременно частью поверхности нагрева. Вал со змеевиком вращается с частотой $6,7 \text{ мин}^{-1}$.

Площадь поверхности нагрева аппарата $5,9 \text{ м}^2$; она складывается из цилиндрической поверхности двухстенной паровой рубашки (60%), поверхностей спирального змеевика (26%) и полого вала (14%). Дробленая томатная масса непрерывно и равномерно подается ротационным или центробежным насосом в аппарат через штуцер. Масса медленно (со скоростью около $0,01 \text{ м/с}$) проходит через внутренний цилиндр *1*, перемешиваясь по всей длине аппарата, и, нагревшись до $70...80^\circ\text{C}$, выходит через разгрузочный штуцер.

Греющий пар давлением $0,13...015 \text{ МПа}$ подводится к полному валу с одного его конца, проходит через полость и спиральный змеевик и через другой конец поступает в паровую рубашку аппарата.

Скапливающийся конденсат из рубашки удаляется конденсатоотводчиком.

Производительность аппарата 7000 кг/ч ($1,85 \text{ кг/с}$); коэффициент теплопередачи $930...1200 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; мощность электродвигателя 1 кВт ; габаритные размеры $3360 \times 1000 \times 1200 \text{ мм}$; масса 470 кг .

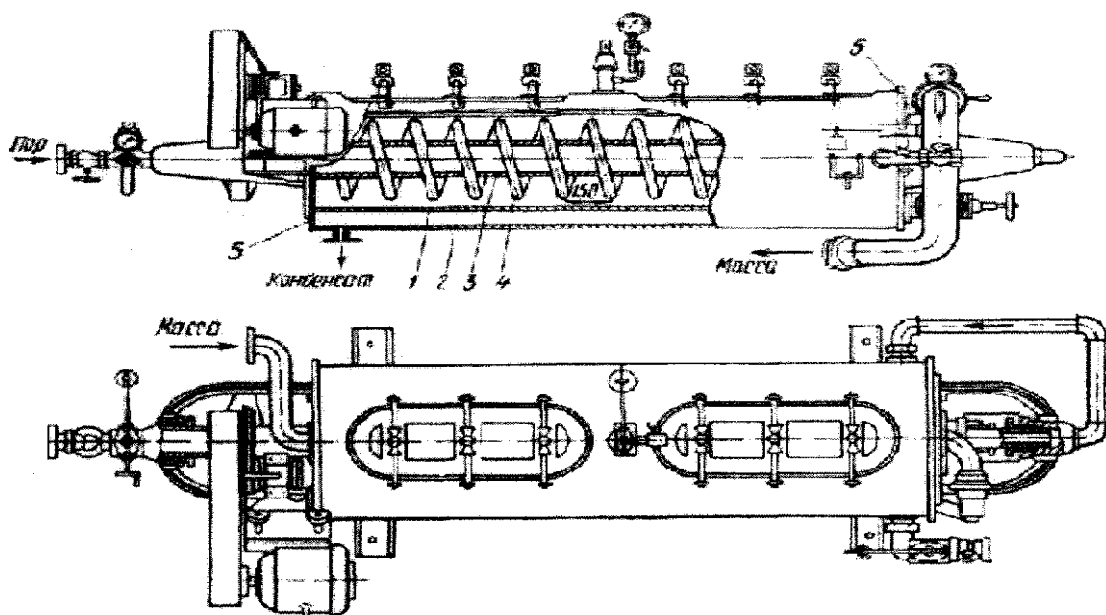


Рисунок 2.7- Подогреватель КПЖ

Кожухотрубные подогреватели предназначены для нагревания дробленой томатной массы, томатной пасты, томатной пульпы, фруктового пюре, фруктовых и овощных соков. Кожухотрубный подогреватель (рис. 2.8) состоит из двух трубных решеток *1*, в которые ввальцованы 60 трубок *2* диаметром $34/32 \text{ мм}$ и длиной 1986 мм . Общая площадь поверхности нагрева аппарата около 13 м^2 . Трубные решетки с трубками заключены в металлический кожух *3* цилиндрической формы и с торцевых сторон закрыты крышками *4*. Последние прикреплены к кожуху при помощи откидных болтов; герметичность соединения обеспечивает уплотняющая прокладка. Между крышкой и трубной решеткой имеются перегородки *5*, образующие камеры, которые объединяют один или два пучка трубок. Таким образом, пучки трубок по 16 в каждом последовательно соединены между собой.

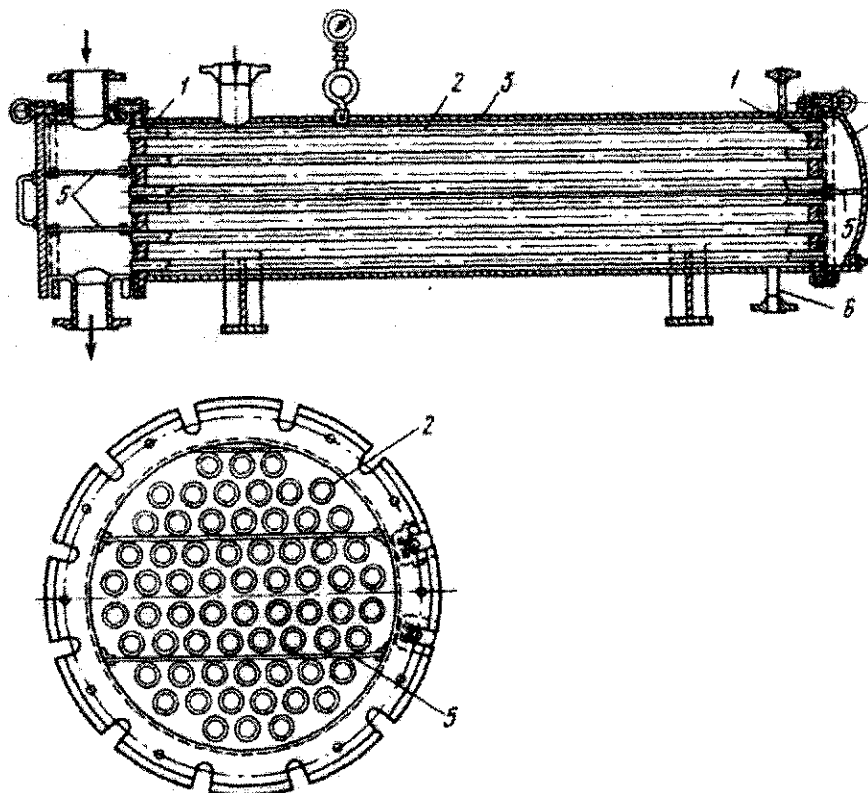


Рисунок 2.8 - Кожухотрубный подогреватель

Пар подается в пространство между кожухом и трубками и омывает их снаружи. Конденсат отводится через патрубок 6 в нижней части кожуха. Давление пара поддерживается 0,11...0,15 МПа. При подогреве томатной пасты давление пара не должно превышать 0,11...0,12 МПа.

При проектировании кожухотрубных теплообменников необходимо руководствоваться основными размерами, приведенными в табл. 2.2. Коэффициенты теплопередачи некоторых продуктов, подогреваемых в кожухотрубных подогревателях, приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.2 - Некоторые характеристики кожухотрубных аппаратов

Показатели	Аппараты									
	одноходовые						двуххо довые	четырёх ходовые	шести ходовые	
Диаметр, мм: Трубки	25	38	57	25	38	25	25	25	25	
Кожуха	400	600	400	600	400	600	600	600	600	
Числотрубок	93	203	37	109	43	151	250	98	224	234
Длина трубок (мм) при площади поверхности нагрева, м ²										
10	1500	-	2500	-	1500	-	-	1000	-	-
15	2000	-	4000	1250	2000	-	-	1500	-	-
20	3000	1000	5000	1500	2500	-	1000	2000	1250	1250
30	4500	1500	7000	2500	4000	1250	1550	2500	2000	2000

Таблица 2.3- Ориентировочные значения коэффициента теплопередачи

Продукт	Скорость движения, м/с	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² .К)
Томат- паста	0,03...0,15	400...580
Фруктовое пюре	0,15...0,4	460...580
Фруктовый сок	0,8...1,5	1400...1750
Дробленные томаты	0,1...1,5	1200...1400
	2,5...3,0	2100...2600

При передаче теплоты от пара через стенку томатной пасте термическое сопротивление от стенки к пасте является наибольшим. Следовательно, на коэффициент теплопередачи не оказывают заметного влияния условия со стороны конденсации пара, а также свойства самой стенки; этот коэффициент будет зависеть главным образом от условий теплопередачи от стенки к пасте.

Трубчатый вакуум-подогреватель КПТ-2 предназначен для нагревания дробленых томатов и различных фруктовых и овощных соков; представляет собой трубчатый многоходовой теплообменник, имеющий двенадцать последовательно соединенных труб из нержавеющей стали диаметром 50 мм и длиной 2925 мм, заключенных в стальной кожух цилиндрической формы (рис. 2.9). С торцевых сторон подогревателя установлены крышки. Задняя крышка 7 имеет шесть впадин для соединения попарно близлежащих трубок, передняя 2 - пять впадин и два патрубка, из которых нижний 10 служит для входа продукта, а верхний 1 - для выхода его из нагревательных трубок.

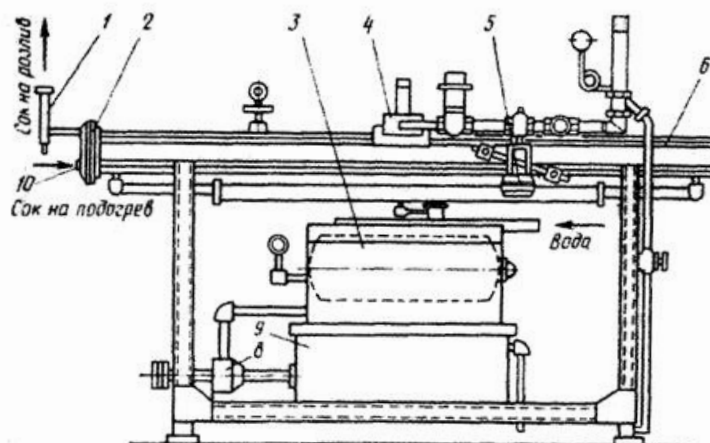


Рисунок 2.9 - Вакуум-подогреватель КПТ-2

Магистральный пар давлением 0,2 МПа редуцируется в вакуум-редукционном клапане 5 до давления 80...90 кПа, что соответствует температуре 93...96°С, после чего поступает в межтрубное пространство через верхнюю часть 4 кожуха 6. Конденсат отводится из подогревателя через конденсатоотводчик с закрытым поплавком в вакуум-сборник 3. Из него конденсат скопившийся там воздух удаляются водяным эжектором, создающим некоторое разрежение и в вакуум-сборнике. Вода в эжектор подается пропеллерным насосом 8 из бака 9. Продукт при помощи

пропеллерного насоса последовательно проходит через все трубки подогревателя, нагреваясь до 80...90

Терморегулятор автоматически поддерживает заданную температуру продукта на выходе, изменяя давление пара в греющей камере. Производительность теплообменника 0,5 л/с, площадь поверхности нагрева 4 м²; скорость движения продукта по трубам теплообменника 2,8...3,5 м/с; мощность электродвигателя насоса 1 кВт; габаритные размеры 3295x850x2050 мм; масса 600 кг. Коэффициент теплопередачи при подогреве сока 90... 1200 Вт/(м²- К).

Двухтрубный подогреватель применяют для нагревания фруктового и томатного пюре и соков. Аппарат (рис. 2.10) состоит из 8... 12 секций, в каждой из них имеется труба из нержавеющей стали диаметром 32...70 мм и длиной 2,0...2,5 м, которая размещена в стальной трубе диаметром 60...100 мм. Кольцевой зазор между трубами заполнен паром. Концы внутренних труб каждой секции соединены между собой патрубками, согнутыми под углом 180°. Уплотнение достигается прокладками.

Масса подается насосом в аппарат по трубе 1 и выходит после нагрева через трубу 7. Пар давлением до 0,3 МПа поступает через патрубок 6, попадает в межтрубное пространство и движется в нем справа налево. В конце первой секции установлен вертикальный патрубок 3, соединяющий межтрубные пространства двух секций. Конденсат из нижней секции выходит через патрубок 2. Для устойчивости и прочности конструкций предназначены опорные прокладки 4. Воздух, скапливающийся в межтрубном (паровом) пространстве, выпускается через продувной кран 5.

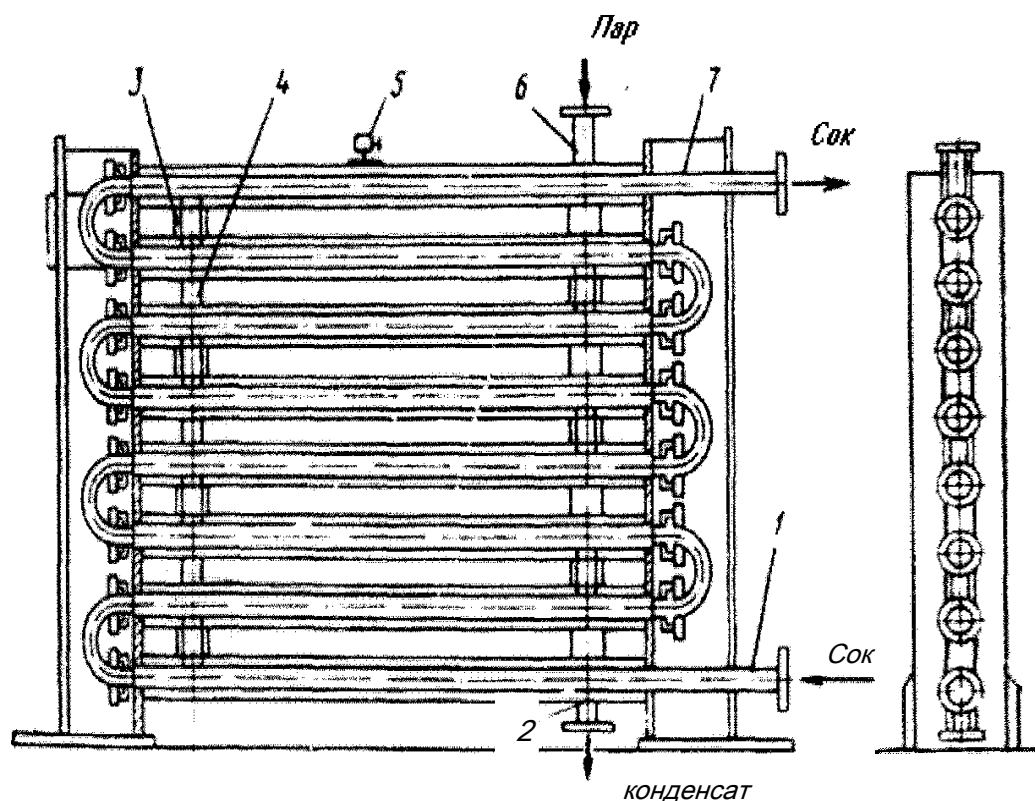


Рисунок 2.10 - Двухтрубный подогреватель

Благодаря небольшому поперечному сечению трубы в таких подогревателях продукт может перемещаться с большой скоростью, что предотвращает образование нагара.

Коэффициент теплопередачи при подогреве фруктового пюре 570 Вт/(м²-К).

Теплообменный аппарат А9-КБДУЗ предназначен для нагревания и охлаждения томатной пасты и плодовых полуфабрикатов. Аппарат состоит из двух теплообменников, рамы, коммуникаций пара, продуктопровода и щита управления.

Теплообменник работает по принципу механической турбуляции потока, имеет корпус и вращающийся барабан с ножами. Кольцевой зазор в корпусе служит для прохода тепло- и хладагентов. Внутри корпуса с зазором расположен барабан с ножами, которые при его вращении снимают пристенные слои продукта и перемешивают их с потоком, обуславливая тем самым высокий коэффициент теплопередачи и равномерность прогрева всего объема продукта. Вращается барабан от электродвигателя через клиноременную передачу.

Техническая характеристика теплообменного аппарата А9-КБДУЗ: производительность по томатной пасте при нагревании не менее 5 т/ч, при охлаждении не менее 2,5 т/ч; площадь поверхности нагрева 3,92 м²; температура продукта на входе в аппарат при нагревании 45...50°С, при охлаждении 125...130°С; температура продукта на выходе из аппарата при нагревании 125...130°С, при охлаждении 35.. .40°С. Температура охлаждающей среды не более 20°С; давление греющего пара 0,4 МПа; расход охлаждающей воды не более 5 м³ /ч, пара не более 1000 кг/ч, электроэнергии не более 7,5 кВт.ч; габаритные размеры 2500 x1390 x 2260 мм; масса не более 1400 кг.

Расчет подогревателей проводят следующим образом. Непрерывнодействующие подогреватели (например, трубчатые, двухтрубные) рассчитывают, принимая продолжительность подогрева $\tau=1$ с.

Из уравнения теплового баланса $Q_1+Q_2=D(i-i_j)$ находят расход пара (кг/с)

$$D=(Q_1+Q_2)/(i-i_k) \quad (2.20)$$

где Q_1 - расход теплоты на нагревание продукта, Вт; Q_2 - расход теплоты на компенсацию потерь в окружающую среду, Вт; i и i_k - удельные энтальпии пара и конденсата, Дж/кг.

Из уравнения теплопередачи

$$Q+Q_c=FK\Delta t \quad (2.21)$$

находят площадь поверхности нагрева (м²)

$$F=(Q_1+Q_2)/(K\Delta t),$$

где K — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²К); Δt - разность температур, °С.

Так как

$$Q_1 = Gc(t_2 - t_1),$$

то из уравнения (2.21) можно определить производительность подогревателя или конечную температуру продукта t_2 , пользуясь уравнением

$$Gc(t_2 - t_1) + Q_2 = FK\Delta t,$$

где G — производительность подогревателя, кг/с; c — удельная теплоемкость продукта, Дж/(кг·К); $t_2 - t_1$ — начальная и конечная температуры продукта, °С.

Таким образом, производительность подогревателя (кг/с)

$$G = \frac{FK\Delta t - Q_2}{c(t_2 - t_1)} \quad (2.22)$$

При этом коэффициент теплопередачи K принимают по опытным данным, полученным при условиях, идентичных расчетным, либо рассчитывают по критериальным уравнениям.

Мощность (Вт) электродвигателя насоса, перемещающего продукт через трубчатый подогреватель,

$$V = V_c \Delta p (1000\eta), \quad (2.23)$$

где V_c — объем перемещаемого продукта, м³/с; Δp — давление, создаваемое насосом, Па; η — КПД насоса.

При движении продукта через трубчатый подогреватель давление (Па), создаваемое насосом для преодоления суммарного гидравлического сопротивления,

$$\Delta p = \frac{\rho \omega^2}{2} \left(l + \lambda \frac{L}{d} + \sum \xi \right) + \rho g H + \Delta p_{\text{доп}} \quad (2.24)$$

где ρ — плотность продукта, кг/м³; ω — скорость движения продукта, м/с; λ — коэффициент сопротивления трению; L — путь частицы продукта в подогревателе, м ($L = z l$, здесь z — число ходов; l — длина трубки, м); d — диаметр трубок подогревателя, м; ξ — коэффициент местных сопротивлений; g — ускорение свободного падения, м/с²; H — высота подъема продукта, м; $\Delta p_{\text{доп}}$ — дополнительное давление, создаваемое при входе продукта в другой аппарат, Па.

Подогреватели периодического действия рассчитывают за время одного оборота (за цикл)

Расход теплоты определяются как сумма статей:

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

где Q_1 — расход теплоты на нагрев продукта, Дж; Q_2 — потери теплоты в окружающую среду, Дж; Q_3 — расход теплоты на испарение с поверхности зеркала продукта, Дж; Q_4 — расход теплоты на нагревание аппарата, Дж.

Из уравнения теплового баланса

$$Q_{\text{общ}} = D(i - i_k),$$

находят расход пара

$$D = Q_{\text{обу}} / (i - i_k),$$

Из уравнения теплопередачи

$$Q_{\text{общ}} = FK\Delta t$$

определяют площадь поверхности нагрева F (м) или продолжительность нагревания (с)

$$\tau = Q_{\text{обу}} / (FK\Delta t) \quad (2.25)$$

Коэффициенты теплоотдачи находят по критериальным уравнениям либо принимают опытные значения, если условия опыта и расчета совпадают.

Производительность (кг/с) периодически действующего теплообменника (двухстенный котел или подогреватель ВНИИКОП-2) определяют по объему продукта, перерабатываемого за один цикл,

$$\Pi = V\rho / (\tau + \tau_1 + \tau_2) \quad (2.26)$$

где V - объем продукта в аппарате, м³; ρ - плотность продукта, кг/м³; τ , τ_1 , τ_2 - продолжительность подогрева, загрузки и выгрузки аппарата, с.

Для подогревателей, работающих как при избыточном внутреннем, так и при избыточном наружном давлении, проводят проверочный расчет на прочность.

2.5 Подогреватели продуктов, расфасованных в консервную тару

2.5.1 Аппарат для нагрева плодоовощных консервов в электромагнитном поле сверхвысокой частоты

Для обеспечения возможности реализации способа интенсивной тепловой стерилизации конструирован аппарат, предназначенный для нагрева плодов до заливки (сиропом, рассолом) и после заливки (сиропа, рассола) в стеклотаре с применением ЭМП СВЧ (рисунок 2.11)

Конструкция аппарата состоит из корпуса 1, камеры 2 с магнетроном, транспортирующего органа 3, выполненного из двухрядной роликовтулочной цепи со специальными приваренными к нему втулками 4 с упорными пластинами 5, на которых установлены столики для банок. Вдоль транспортирующего органа внутри камеры установлена направляющая 7. Аппарат оборудовано также накопитель для крышек 10 с устройством для подачи крышек 11 и электрическими нагревателями 9.

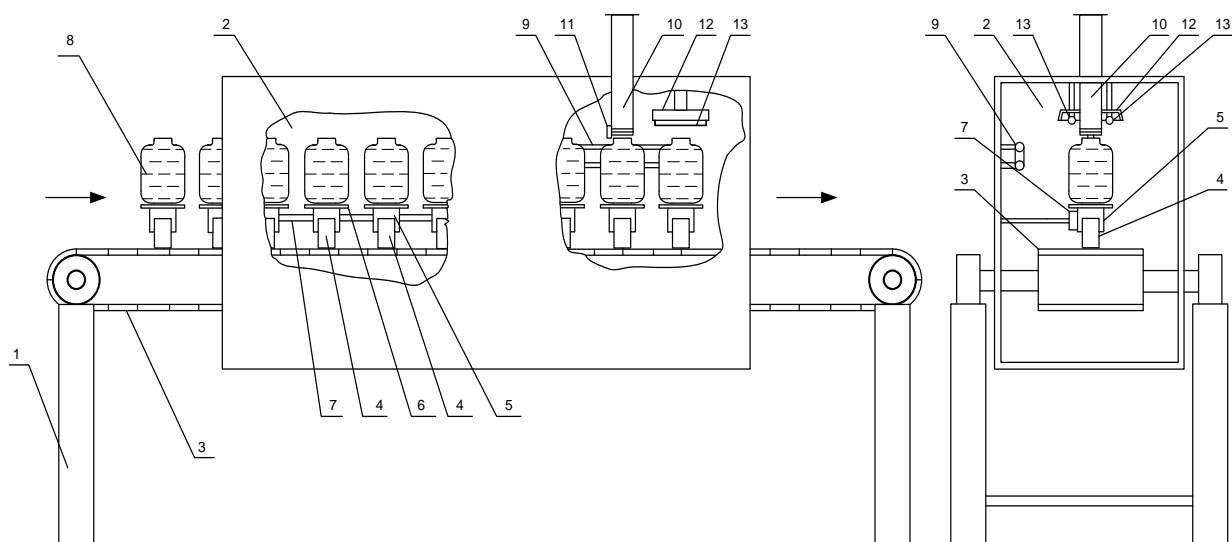


Рисунок 2.11 – Аппарат для нагрева плодоовощных консервов в электромагнитном поле сверхвысокой частоты: 1 – корпус; 2 – СВЧ- камера; 3 – транспортер; 4 – втулки; 5 – упорная пластина; 6 –столик для банок; 7 – направляющая; 8 – банка; 9 – электрический нагреватель; 10 – накопитель для крышек; 11– устройство подачи крышек; 12 – отражательные пластинки; 13 – инфракрасные лампы

В конце камеры к верхней крышке ее закреплен отражатель 12 с инфракрасными лампами 13, предназначенными для обеспечения нагрева крышек, с целью подавления микрофлоры.

Работа аппарата осуществляется следующим образом: банки после укладки в них плодов (овощей) поступают на столики 6, и вместе с транспортирующим органом поступают в камеру для СВЧ- обработки

Упорная пластинки 5 в комплексе с направляющей 7, способствуют вращению банок в процессе перемещения. По мере продвижения банок в СВЧ-камере продолжительностью 1-2,5 мин подвергаются нагреву в ЭМП .В конце камеры банки накрываются крышками и далее попадают в зону ИК нагрева, где посредством воздействия ИК лучей крышки подвергаются тепловому воздействию и далее выходят из камеры. Отличительными признаками предложенного аппарата является то, что в СВЧ -камере дополнительно установлены нагреватели, устройство для накрытия крышками и ИК лампы с отражателем. Использование данного аппарата в технологической линии производства плодоовощных консервов обеспечивает возможность использования интенсивных режимов стерилизации.

2.5.2 Аппарат для нагрева плодов в банках водяным паром

Для практической реализации предложенного способа с предварительным нагревом плодов в банках насыщенным паром разработана конструкция аппарата для нагрева плодов в банках водяным паром, схема которого представлена на рисунке 2.12.

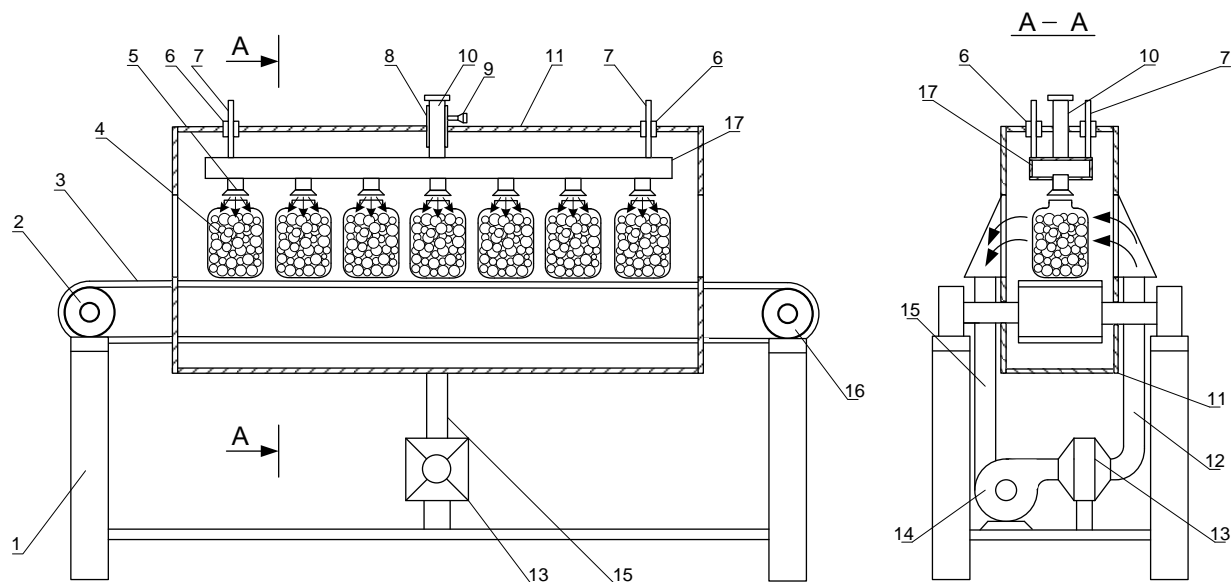


Рисунок 2.12 – Аппарат для нагрева плодов в банках водяным паром: 1 – каркас; 2,16 – ведущий и ведомый барабаны; 3 – транспортер; 4 – банки; 5 – сопла для подачи пара; 6 – направляющие; 7 – направляющие; 8 – втулка паровой трубы; 9 – винт для фиксации парораспределителя; 10 – труба для подачи пара; 11 – кожух; 12 – труба для подачи нагретого воздуха; 13 – калорифер; 14 – вентилятор; 15 – труба для отвода отработанного воздуха; 17 – парораспределитель

Аппарат включает в себя каркас 1, на котором установлен пластинчатый транспортер 3, парораспределитель 17 с соплами для подачи пара 5. С наружной стороны к углам парового коллектора приварены направляющие 7, которые перемещаясь по втулкам 6, обеспечивают возможность фиксации парового коллектора с соплами на различных высотах от транспортера, в зависимости от высоты банок.

Для фиксации парового коллектора в различных положениях аппарат снабжен зажимным винтом 9, который установлен на втулке 8. Для нагрева и подачи нагретого воздуха в камеру обработки аппарат снабжен вентилятором 14 и электрическим калорифером 13.

Аппарат работает следующим образом. Банки, после заполнения подготовленными плодами, транспортером 16, совершающим прерывистое движение с интервалом 10с, подаются камеру обработки, где момент остановки транспортера оказываются под соплами для подачи пара. Пар из коллектора 7 посредством сопел 5 подается в банки с плодами. Плоды при обработке в течение 80-120с за счет конденсации пара нагреваются до

65-75⁰С. В аппарате также предусмотрено обдувание наружной поверхности банок нагретым воздухом с температурой 110-120⁰С и скоростью 3-5 м/с, что обеспечивает предотвращение термического боя банок

Использование данного аппарата в линиях производства консервируемых компотов будет обеспечивать поточность производства, экономию тепловой энергии, увеличение производительности стерилизационного оборудования, а также повышение качества и конкурентоспособность готового продукта.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы назначение, устройство, принцип работы бланширователей? Как их рассчитывают? 2. Как устроены и работают развариватели? Как их рассчитывают? 3. Какие вы знаете подогреватели периодического действия? Как они устроены и работают? Как проводят расчет подогревателей? 4. Опишите подогреватели непрерывного действия, их устройство, принцип работы и расчет. 5. Рассмотрите конструкцию подогревателя с очищаемой поверхностью нагрева, укажите его преимущества перед другими подогревателями.

ГЛАВА 3

3.1 Оборудование для обжаривания сырья

В перерабатывающей промышленности применяют разнообразные обжарочные печи, схема классификации которых приведена на рисунке 3.1

Обжарочные печи могут работать при атмосферном давлении, когда температура испарения влаги из продукта близка к 100°C , и под вакуумом, когда температура испарения соответствует разрежению в аппарате и равна примерно $55\text{...}60^{\circ}\text{C}$. В обоих случаях температура масла достигает $120\text{...}140^{\circ}\text{C}$. Как видно, при обжаривании под вакуумом разность между температурами масла и продукта будет более высокой и, следовательно, влага будет испаряться более интенсивно. В зависимости от вида теплоносителя различают печи, в которых продукт обжаривается в масле, в потоке горячего газа (воздуха), под воздействием инфракрасных лучей.

В печах с паровым обогревом используют водяной пар давлением $0,8\text{...}1,2$ МПа, который подводят в нагревательные камеры — трубчатые теплообменники. Нагревательная камера расположена в ванне печи и погружена в масло, пар конденсируется внутри трубок. Их располагают в один ряд или в два ряда по высоте, чаще всего их сплющивают (овальный вид) и устанавливают по длине ванны или по ее ширине (реже). Нагревательная камера иногда бывает вынесена за пределы ванны, такую печь называют печью с выносной нагревательной камерой. В этом случае внутри трубок движется масло, а снаружи находится пар.

Различают обжарочные печи немеханизированные и механизированные; в последних поток продукта непрерывно перемещается через обжарочную печь при помощи транспортера со съемными (несъемными) сетками и с поперечными планками либо ленточного транспортера (сетчатая металлическая лента).

В механизированных печах сетки во время обжаривания сырья находятся в горизонтальном положении, во время выгрузки — в наклонном. К цепям транспортного устройства сетки прикреплены шарнирно или на захватах таким образом, чтобы центр их тяжести был расположен ниже места прикрепления сетки к цепям.

Все транспортные устройства механизированных печей движутся со скоростью $0,4\text{...}0,8$ м/мин, что обусловлено продолжительностью обжаривания и длиной ванны. В механизированных печах устанавливают дозирующие устройства-питатели для загрузки и разгрузочное устройство; в этих печах все параметры (давление пара в нагревательных камерах, температура и расход масла, температура воды и водяной подушки и др.) регулирует обслуживающий персонал. В автоматизированной обжарочной печи все эти параметры регулируются контрольно-измерительными приборами и устройствами.



Рисунок 3.1-Классификация обжарочных печей

3.2 Теоретические основы тепло - и массообмена в обжарочных печах

В продукте под действием теплоты протекают взаимосвязанные физические и физико-химические процессы, в результате которых происходят выделение и удаление части влаги, впитывание масла, объемная усадка продукта, выделение газов, повышение давления внутри образцов, увеличение пористости, а также изменение плотности и теплоемкости продукта. Скорость этих процессов зависит от формы и размера кусочков продуктов, температуры масла, условий теплообмена между маслом и продуктом и других факторов.

Перенос влаги и теплоты внутри продукта - единый процесс, связанный также с внешним тепло- и массообменом. В первый период температура в продукте постепенно повышается от поверхностных слоев к центральным до 96...99°C, влага движется как наружу в виде пара и жидкости, так и к центру в виде жидкости. Скорость удаления влаги в первый период постоянна, но значение ее зависит от условий теплообмена. Во второй период температура в каждом образце слоя остается некоторое время постоянной и равной 96...99°C, а затем при достижении влагосодержания в продукте 200...300% к абсолютно сухому веществу (начиная с наружного слоя) температура постепенно повышается, приближаясь к температуре масла.

В производственных условиях конечное влагосодержание овощей всегда составляет 200...300% к содержанию абсолютно сухого вещества (кроме овощей, нарезанных в виде стружки). Вследствие этого во второй период обжаривания температура в центре образца удерживается в пределах 96...99°C и влага движется только в виде пара. При этом скорость удаления влаги снижается.

При обжаривании овощей удаляется главным образом свободная влага, выделившаяся из клеток после их плазмолиза под действием высокой температуры. Максимальное количество влаги (примерно 30...35% общей массы ее) удаляется в первый период, т. е. в период нагревания кусочков продукта. Удаление из продукта влаги наружу происходит в основном под действием градиента общего давления. При этом в первый период обжаривания движение влаги наружу несколько тормозится из-за движения части жидкости к центру кусочков продукта под действием градиента температуры. С повышением температуры масла скорость удаления влаги из овощей увеличивается.

Паромасляная эмульсия, образующаяся в результате испарения влаги из продукта, имеет тенденцию перемещаться со значительной скоростью к поверхности зеркала масла. Благодаря разности плотностей эмульсии в сетке и масла в межсеточных пространствах эта тенденция усиливается.

По достижении пузырьками пара верхнего уровня масла они прорываются в атмосферу. Масло, температура которого меньше, чем в нижних слоях, движется между сетками вниз к нагревательной камере. Таким образом, в результате конвективных токов и движения паромасляной эмульсии в печи создаются высокие скорости движения масла (около 1 м/с). Благодаря этому

вблизи поверхности нагрева создается турбулентный гидродинамический режим.

В первый период обжаривания интенсивность теплообмена определяется значениями коэффициентов теплоотдачи от масла к продукту путем конвекции. Во второй период из-за образовавшейся корочки, имеющей на поверхности температуру, близкую к температуре масла, интенсивность теплообмена определяется уже коэффициентом теплопроводности корочки и ее толщиной, так как в этом случае теплота передается в толщу продукта главным образом путем теплопроводности. Эта зависимость устанавливается из следующих равенств: для первого периода

$$KF\tau(t_n - t_M)\beta\alpha F_{np}\tau(t_M - t_{np}), \quad (3.1)$$

для второго периода

$$KF\tau(t_{II} - t_M)\beta = (\lambda_K/\delta_K)F_{np}\tau(t_M - t_{исп}), \quad (3.2)$$

где K - коэффициент теплопередачи, Вт/(м²-К); F - площадь поверхности нагрева, м²; τ - продолжительность теплообмена, с; t_n , t_M и t_{np} - температура пара, масла и продукта, °С; β - коэффициент, учитывающий теплоту, воспринятую продуктом ($\beta=0,6...0,7$); α - коэффициент теплоотдачи от масла к продукту, Вт/(м²-К); F_{np} - площадь поверхности продукта, м²; λ_K - коэффициент теплопроводности корочки, Вт/(м-К); δ_K - толщина корочки, м; $t_{исп}$ - температура испарения влаги в продукте ($t_{исп}=373$ К).

Анализ уравнений (3.1) и (3.2) показывает, что при увеличении скорости движения масла вдоль поверхности продукта теплообмен интенсифицируется только в первый период обжаривания, когда еще нет корочки и теплота передается главным образом конвекцией, а влага испаряется в поверхностных слоях продукта. Во второй период, когда образуется корочка, представляющая собой значительное термическое сопротивление, повышение скорости масла вдоль поверхности продукта очень мало влияет на интенсивность теплообмена.

Площадь поверхности продукта F_{np} , соприкасающаяся с маслом, имеет большее значение в единице массы при большей степени измельчения продукта. Следовательно, теплообмен происходит более интенсивно в случае измельчения (резки) продукта.

Пользуясь экспериментальными данными, полученными при исследовании процесса обжаривания, Н.Я. Савина установила функциональную зависимость коэффициента теплоотдачи (от масла к продукту) от ряда величин:

$$\alpha = f(l, \lambda, \vartheta, \nu, t_M, t_{np}) \quad (3.3)$$

где l - определяющий размер образца, м (для кубика - грань, для стружки и кружка - наименьший размер); λ - коэффициент теплопроводности масла, Вт/(мК); ϑ - скорость потока у поверхности продукта (создаваемая потоком влаги, пара и газов), м/с; ν - вязкость масла, м²/с; t_M - температура масла, °С; t_{np} - температура на поверхности продукта, °С.

Н. Я. Савиной получена также критериальная зависимость

$$Nu = (\alpha l)/\lambda = 8,55Re^{0,93}(t_M/t_{np})^{-5} \quad (3.4)$$

В зависимости от условий обжаривания, размера и вида продукта получены следующие значения коэффициента теплоотдачи a [Вт/(м·К)]: для моркови — кубики — 350... 450, стружка — 585; для кабачков (кружки) 330...540.

Теплообмен между поверхностью нагрева и маслом происходит путем конвекции. Интенсивность теплообмена между паром в нагревательной камере и маслом в печи характеризуется коэффициентом теплопередачи, зависящим от коэффициента теплоотдачи a_2 . Как установила Н. Я. Савина, коэффициент теплоотдачи a_2 от поверхности нагрева к маслу при движении масла в трубе может быть определен из таких формул: при ламинарном режиме ($Re < 2200$)

$$Nu = 0,0144Re^{0,75}Pr^{0,33} \quad (3.5)$$

при переходном режиме ($2200 < Re < 6000$)

$$Nu = 0,0018RePr^{0,33} \quad (3.6)$$

В зависимости от скорости движения масла и температуры теплоносителя $a_2 = 232...814$ Вт/(м²·К).

Интенсивность теплообмена между паром и продуктом через поверхность нагрева определяется общим термическим сопротивлением (м²·К/Вт)

$$R_{об} = R_{\Pi} + R_{СТ} + R,$$

где R_n - термическое сопротивление теплоотдаче от пара к стенке; $R_{\Pi} = 1/\alpha_1$, α_1 - коэффициент теплоотдачи от пара к стенке греющих трубок, Вт/(м²·К); α_1 - рассчитывается по критериальным уравнениям; $R_{СТ}$ - термическое сопротивление стенки греющих труб;

$$R_{СТ} = \delta_{СТ}/\lambda_{СТ}$$

$\delta_{СТ}$ и $\lambda_{СТ}$ - толщина (м) и теплопроводность [Вт/(м·К)] стенки трубы.

Термическое сопротивление R при передаче теплоты от поверхности нагрева к продукту зависит от многих факторов. Так, при естественной циркуляции масла

$$R = f(t_{СТ}, l_H, \lambda_M, t_{исп}, W_H, W_K),$$

пользуясь методом анализа размерностей, получим

$$R = (l_H/\lambda_M)c(t_{СТ}/t_{исп})^{-5}(t_{np}/t_H)^2 (W_H/W_K)^m, \quad (3.7)$$

где $t_{СТ}$ и $t_{исп}$ - температура на поверхности нагрева и в зоне испарения, °С; l_H и l_{np} - определяющий размер поверхности нагрева и обжариваемого кусочка продукта, м; λ_M -

коэффициент теплопроводности масла, Вт/(м·К); W_H и W_K - начальное и конечное влагосодержание продукта, % к абсолютно сухому веществу; c и m - коэффициенты, зависящие от t_{np}/t_H и температуры масла (табл. 3.1).

Таблица 3.1- Значения коэффициентов c и m

t_{np}/t_H	Начальная температура масла (°С) в период обжаривания							
	первый				Второй			
	120		140		120		140	
2	0,860	-2,780	0,400	0,154	0,119	2,300	0,240	1,350
1	0,603	0,867	0,646	0,270	0,132	0,807	0,327	0,675
0,4	3,200	-1,330	0,280	0,750	0,720	0,240	0,700	0,245

Общий коэффициент теплопередачи от пара к продукту [Вт/(м·К)]

$$K_{общ} = l/R_{общ}$$

Как показали исследования, общий коэффициент теплопередачи изменяется от 290 до 460 Вт/(м²·К); в обжарочной печи он также зависит от толщины слоя нагара на поверхности нагрева. Так, при давлении пара 0,9... 1,0 МПа, загрузке сеток слоем продукта толщиной 90...110 мм и чистой (без нагара) поверхности нагрева $K_{общ}$ при обжаривании составляет [Вт/(м²·К)]: для рыбы 290...390, кабачков и баклажанов 390...410, моркови и лука 410...460.

Продолжительность обжаривания зависит от многих факторов и прежде всего от способа, вида овощей, степени измельчения (размеров, кусочков), температуры масла, начального и конечного влагосодержания продукта, скорости удаления влаги, толщины корочки и др. Однако пока нет точных аналитических уравнений для расчета времени обжаривания. Академиком А. В. Лыковым получено уравнение для приближенного расчета продолжительности обжаривания (с)

$$\tau = \frac{W_1 - W_{K1}}{K_1} + \frac{1}{K_2 2,3 \lg \left(\frac{W_{K1}}{W_{K2}} \right)} + \frac{1}{K_3 2,3 \lg \left(\frac{W_{K2}}{W_{K3}} \right)} + \dots + \frac{1}{K_n 2,3 \lg \left(\frac{W_{K_{n-1}}}{W_{K_n}} \right)}, \quad (3.8)$$

где W_1 - начальное влагосодержание продукта, % к абсолютно сухому веществу; W_{K1} - влагосодержание в первой критической точке, % к абсолютно сухому веществу (для кабачков, нарезанных кружками, $W_{K1} = 1300...1600\%$, для моркови, нарезанной стружками, $W_{K1} = 400...600\%$); K_1 - коэффициент скорости удаления влаги в первый период; числовое значение его равно $\tan g$ угла наклона кривой удаления влаги в первый период; W_{K2} , W_{K3} , W_{Kn} - конечное влагосодержание на прямых отрезках кривой падающей скорости сушки (во второй период, % к абсолютно сухому веществу); K_2 , K_3, \dots, K_n - коэффициенты скорости удаления влаги; числовое значение этих коэффициентов равно $\tan g$ угла наклона отрезков кривой сушки во второй период.

По формуле (3.8) получают результаты, достаточно точные для технических расчетов.

3.3 Нагревательные камеры обжарочных печей

Нагревательная камера с двухрядным пучком труб (рис. 3.2 ,а) образована из двух цилиндрических коллекторов, расположенных параллельно в одной вертикальной плоскости. В коллекторы вварены концы труб, согнутые в виде U-образной петли. В верхний коллектор подводится пар, из нижнего выводится конденсат. Из-за большой высоты среднего слоя масла, а также малой удельной поверхности нагрева значительны потери масла вследствие низкого коэффициента его сменяемости.

В нагревательной камере (рис. 3.2,б) с двумя коллекторами, в которые вварены трубы шириной 21 мм и высотой 65 мм, благодаря овальной форме труб поверхность нагрева большая при тех же габаритных размерах ванны.

Многорядная нагревательная камера конструкции И. П. Ефременко (рис. 3.1,в) образована из двух коллекторов, в которые вварены 252 трубки длиной 90 мм и диаметром 14 мм (7 трубок по высоте и 36 трубок по длине коллектора). Трубки нагревательной камеры расположены поперек ванны, а коллектор — вдоль стенок ванны.

В нагревательной камере конструкции Украинского научно-исследовательского института консервной промышленности коллекторы расположены вдоль нее, а трубки — поперек печи в двух отсеках ванны. Нагревательная камера в первом отсеке (в месте загрузки сырья) образована из овальных трубок, установленных в три ряда по высоте ванны, во втором — из двух рядов трубок.

Обжарочные печи с выносной нагревательной камерой бывают с принудительным и естественным движением масла. Нагревательная камера такой печи представляет собой кожухотрубный теплообменник, по трубам которого движется масло, а в межтрубном пространстве находится пар высокого давления.

В выносной нагревательной камере с естественной циркуляцией масла (рис. 3.2,г) имеется 56 трубок с внутренним диаметром 28 мм, расположенных внутри кожуха диаметром 410 мм. Трубки установлены под углом 6° , что обеспечивает естественную циркуляцию масла.

В печах с электроподогревом рижского завода «Кайя», ПКЗ-2 и др. нагревателями являются электрические спирали, уложенные в изоляторах под днищем. Теплопередача от нагретых спиралей к днищу через воздушную прослойку происходит путем конвекции и радиации. При такой конструкции поверхности нагрева упрощается санитарная обработка ванны, к тому же для покрытия продукта в ванне необходим минимальный слой масла. Конструкции погружных поверхностей нагрева в электрических печах Адлерского и Ялтинского рыбозаводов представляют собой электрические спирали в фарфоровых изоляторах.

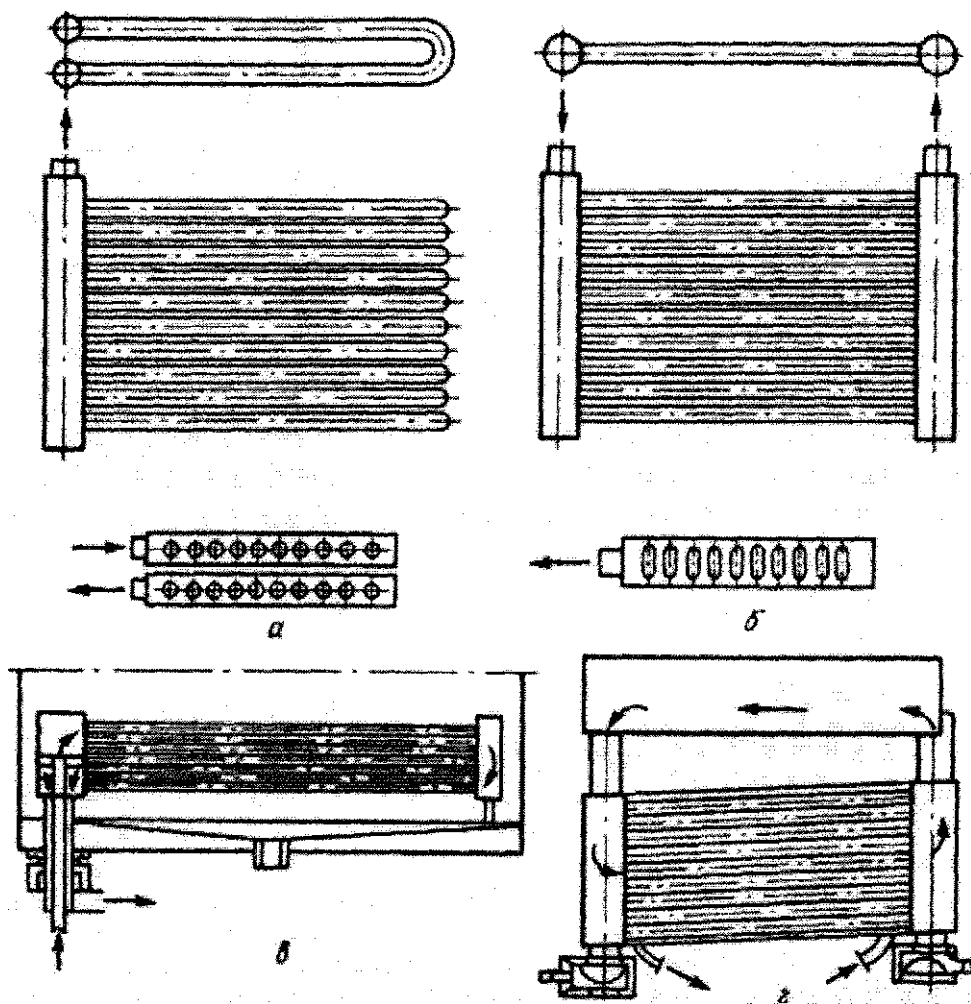


Рисунок 3.2- Конструкция нагревательных камер обжарочных печей: а - с двухрядным пучком труб; б - с двумя коллекторами; в - многорядная конструкция И.П. Ефременко; г - выносная с естественной циркуляцией масла

3.4 Обжарочные аппараты (печи)

Автоматизированная паромасляная печь АПМП-1 (рис. 3.3) с автоматическим регулированием процесса обжаривания овощей при производстве овощезакусочных консервов состоит из загрузочного устройства - элеватора типа «гусиная шея» 1, ванны 2, транспортера 3, привода 9 печи, установки для транспортировки и фильтрации масла, трубопроводов масла, пара и воды, помоста. Ванна печи представляет собой каркас со стенками и днищем и разделена перегородкой б на два отсека 4 и 8. В комплект ванны входят нагревательные камеры 7, охладители 5, корытообразный кожух, барботеры, вытяжные зонты. Снаружи ванна изолирована теплоизолирующим слоем с деревянной обшивкой.

Нагревательные камеры и охладители являются теплообменниками, состоящими из плоскоовальных труб, вваренных в прямоугольные коллекторы.

Техническая характеристика печи АПМП-1: производительность 2000 кг/ч; площадь поверхности нагрева 45,5 м²; среднее количество масла в печи 950±50 кг; расход пара при давлении 1... 1,2 МПа 1440 кг/ч; продолжительность обжаривания 5...22 мин; скорость движения ленты 0,005...0,02 м/с; расход воды в охладителе 2 м³/ч; суточный коэффициент сменяемости масла для кабачков 2, баклажанов 6,6; установленная мощность 6,1 кВт; габаритные размеры 12700x3640x3710 мм; масса 10500 кг.

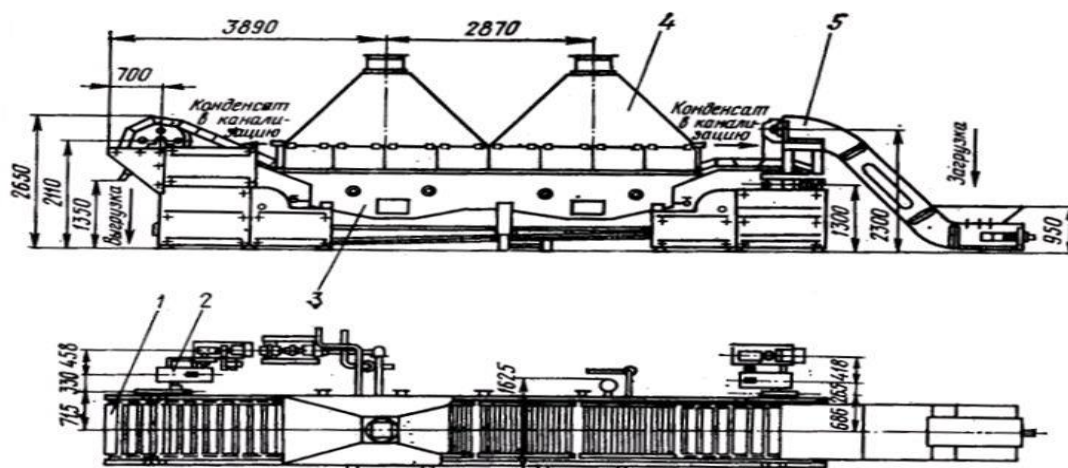


Рисунок 3.3- Паромазная печь АПМП-1

Разгрузочное устройство представляет собой каркас с размещенными на нем приводной станцией, щитком, прикрывающим ленту транспортера, защитным кожухом, вибратором и поддоном для стока масла; загрузочное устройство - каркас с натяжной станцией и защитным кожухом.

Транспортер состоит из двух валов с двумя цепными блоками каждый, натяжного устройства, направляющих, двух шарнирных грузовых цепей с прикрепленной к ним лентой с лотками из перфорированных листов.

Привод печи включает в себя электродвигатель, два редуктора и тахогенератор, привод элеватора типа «гусиная шея» - электродвигатель и два редуктора.

Установка для транспортировки и фильтрации масла имеет напорный и фильтрующий баки, фильтр, консольно-моноблочный насос, поплавковый регулятор и трубопроводы с запорной арматурой.

А п п а р а т ы А9-КЖД предназначены для обжаривания овощей в растительном масле (табл. 3.2). Эти аппараты имеют ванну, транспортирующее устройство - скребковый конвейер, установленный внутри ванны, подогреватель для масла, насосную установку и устройство для удаления обжаренного продукта.

Перед началом работы ванну аппарата заполняют холодным маслом и при достижении уровня 100...200 мм включают насосную установку для заполнения всей системы маслом. После этого включают подачу пара в подогреватель и масло в системе ванна - подогреватель - ванна нагревается до 150°С.

Таблица 3.2 - Техническая характеристика аппаратов А9-КЖД

Показатели	А9-КЖД-1	А9-КЖД-2	А9-КЖД-3
Производительность по сырью, т/ч	1	2	4
Продолжительность обжаривания, мин	6...20	6...20	6...20
Температура масла в ванне, °С	130...150	130...150	130...150
Расход:			
Электроэнергии, кВт·ч	11,5	21,5	40
Пара, кг/ч	700	1400	2800
Воды, м ³ /ч	0,1	0,2	0,4
Габаритные размеры, мм	6000x3100x3100	8000x3100x3100	12000x3100x3100
Масса, кг	9700	12200	19600

С помощью подающего устройства сырье поступает в ванну, под действием пластин скребкового конвейера продвигается вдоль нее и обжаривается. Выделяющийся из сырья пар по каналу, образованному теплоизоляционными экранами и поверхностью масла, перемещается к вытяжным трубам. При выходе из ванны обжаренный продукт выводится перфорированной пластиной на наклонную часть днища и выходит из ванны, попадая на вибрлоток отводящего устройства.

Универсальная паровая плита КПП-1 предназначена для варки варенья, томатопродуктов, сиропов, джемов, повидла и т. п., а также для обжаривания овощей, мяса и т. д. Она состоит из корпуса, опрокидывающего механизма, стоек (левой и правой), трубопроводной арматуры и вытяжного колпака.

Корпус с нагревательной камерой, имеющей прямоугольную форму, изготовлен из листовой стали и установлен на двух опорах — пустотелых цапфах. Пар подается в центральный коллектор нагревательной камеры, а конденсат стекает с противоположной стороны коллектора. Плита опрокидывается с помощью червячной пары, вращаемой маховиком. При варке продукта или обжаривании овощей пар подается в паровую рубашку только по заполнению ванны сырьем. Если после тепловой обработки необходимо охладить продукт, в рубашку направляют холодную воду.

Техническая характеристика плиты КПП-1: производительность по варенью 75 кг/ч; угол наклона при опорожнении 45°; продолжительность опорожнения 10 с; площадь поверхности нагрева 1,5 м; рабочий объем 270 дм³; рабочее давление пара 0,8... 1,0 МПа; расход пара 82 кг/ч, воды 0,272 м³/ч; габаритные размеры 2020x1798x2422 мм; масса 630кг.

Степень совершенства обжарочных печей довольно низкая. Основные недостатки обжарочных аппаратов следующие:

- применение двухрядной трубчатой нагревательной камеры; при такой конструкции средний слой масла должен иметь значительную высоту, при которой увеличивается количество масла в аппарате и уменьшается коэффициент сменяемости;

- неполное использование поверхности зеркала масла;
- трудность чистки греющих труб;
- длинный путь пара, снижающий активность теплообмена.

Оптимальный режим работы обжарочного аппарата может быть достигнут при полной его нагрузке и непрерывности в работе.

Одним из показателей обжарочного аппарата является удельная площадь поверхности нагрева $f_{y\partial}$, т. е. отношение поверхности нагрева к поверхности зеркала масла. Для большинства обжарочных печей удельная поверхность в среднем $5,5...6,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$, в современных обжарочных печах $f_{y\partial} = 9... 10 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Температуру масла между сетками поддерживают при обжаривании овощей $120...160 \text{ }^\circ\text{C}$, при обжаривании рыбы $140...180 \text{ }^\circ\text{C}$. При работе обжарочной печи температура масла может снижаться из-за уменьшения давления пара и коэффициента теплопередачи или прекращения отвода конденсата, а также при увеличении загрузки аппарата сырьем сверх расчетной.

Продолжительность обжаривания зависит от плотности ткани, формы и размеров сырья, температуры масла в сетке и толщины слоя обжариваемого продукта. На каждом заводе продолжительность обжаривания устанавливают опытным путем в начале сезона. Она должна обеспечить истинный процент у жарки, установленный нормами. Обычно продолжительность обжаривания $5...18$ мин.

Производительность обжарочной печи зависит от видов обжариваемого сырья, процент у жарки которых различен, от площади поверхности нагрева, конструкции нагревательной камеры, ее состояния, параметров греющего пара и режима работы. Часовая производительность обжарочной печи для овощей $30...35 \text{ кг}/\text{м}^2$, для рыбы $25...30 \text{ кг}/\text{м}^2$.

Расход пара (кг на 1000 кг сырья) при обжаривании в печах с водяной подушкой: лука (истинная степень у жарки 64%) 1100...1150, моркови (56%) 1000, баклажанов (41...53,5%) 780...1000, кабачков (42...44%) 800. В печах без водяной подушки расход пара на 1000 кг сырья меньше на 110...120 кг. Расход пара на нагревание масла до температуры обжаривания примерно $0,15...0,20$ кг на 1 кг подогреваемого масла.

Вода, находящаяся под слоем горячего масла, обычно меняется непрерывно. Расход воды зависит от ее начальной и конечной температуры. При начальной температуре воды $15...18 \text{ }^\circ\text{C}$ и температуре выходящей воды $50...60 \text{ }^\circ\text{C}$ расход ее составляет $1...1,5$ л на 1 кг обжариваемого сырья.

3.5 Расчет обжарочных печей

Расход теплоты в обжарочных печах складывается из отдельных статей.
Расход теплоты на нагрев продукта (Вт)

$$Q_1 = Gc(t_4 - t_3) \quad (3.9)$$

где G — производительность печи по сырью, кг/с; c — удельная теплоемкость продукта, кДж/(кг·К); t_3 и t_4 — начальная и конечная температуры продукта, °С.

Расход теплоты на испарение влаги при обжаривании (Вт)

$$Q_2 = 0,01G\chi_{и}r \quad (3.10)$$

где $\chi_{и}$ - истинный процент ужарки; r — теплота испарения, Дж/кг.

Расход теплоты на нагрев сеток (Вт)

$$Q_3 = G/G_{np} G_K c_1 (t_2 - t_0) \quad (3.11)$$

где G_{np} - масса продукта в одной сетке, кг; G_K - масса одной сетки ($G_K=3...6$ кг); c_1 - удельная теплоемкость стали, кДж/(кг·К); t_2 - средняя температура активного слоя масла, °С; t_0 - начальная температура сеток, °С.

Расход теплоты на нагревание доливаемого масла (Вт)

$$Q_4 = 0,01GMc_2(t_2 - t_1) \quad (3.12)$$

где M - расход масла на обжаривание сырья, % к массе сырья; c_2 - удельная теплоемкость масла, кДж/(кг·К); t_1 - начальная температура масла, °С.

Расход теплоты на нагрев охлаждающей воды (Вт)

$$Q_5 = Gc_B B(t_6 - t_5) \quad (3.13)$$

где c_B - удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·К); B - удельный расход охлаждающей воды, кг/кг сырья; t_5 и t_6 - начальная и конечная температуры охлаждающей воды, °С.

Потери теплоты в окружающую среду путем конвекции и лучеиспускания (Вт)

$$Q_6 = F_a \alpha_o (t_7 - t_{воз}) \quad (3.14)$$

где F_a - площадь поверхности аппарата, м²; α_o - суммарный коэффициент теплоотдачи конвекцией и лучеиспусканием, Вт/(м²·К); t_7 - температура на поверхности аппарата, °С; $t_{воз}$ - температура воздуха, °С.

По данным Краснодарского филиала ВНИИКОПа, $Q_6=8\%$ общего расхода теплоты.

Общий расход теплоты (Вт)

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (3.15)$$

площадь поверхности нагрева печи (м^2)

$$F = Q_{\text{общ}} / (K\Delta t) \quad (3.16)$$

По площади поверхности нагрева устанавливают размеры нагревательной камеры.

Расход пара в обжарочной печи (кг/с)

$$D_{\text{П}} = Q_{\text{общ}} / (i - i_{\text{К}}) \quad (3.17)$$

где: i и $i_{\text{К}}$ - удельная энтальпия пара и конденсата, Дж/кг.

Производительность обжарочной печи (кг/с) может быть найдена из уравнения общего расхода теплоты

$$G = [FK(t_{\text{П}} - t_2) - Q_6] / \{c(t_4 - t_3) + 0,01\chi_{\text{и}}r + G_{\text{К}}/[G_{\text{нр}}c_1(t_2 - t_0) + 0,01Mc(t_2 - t_1) + c_{\text{В}}B(t_6 - t_5)]\} \quad (3.18)$$

где K - коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{-К})$; $t_{\text{н}}$ - температура греющего пара, $^{\circ}\text{С}$.

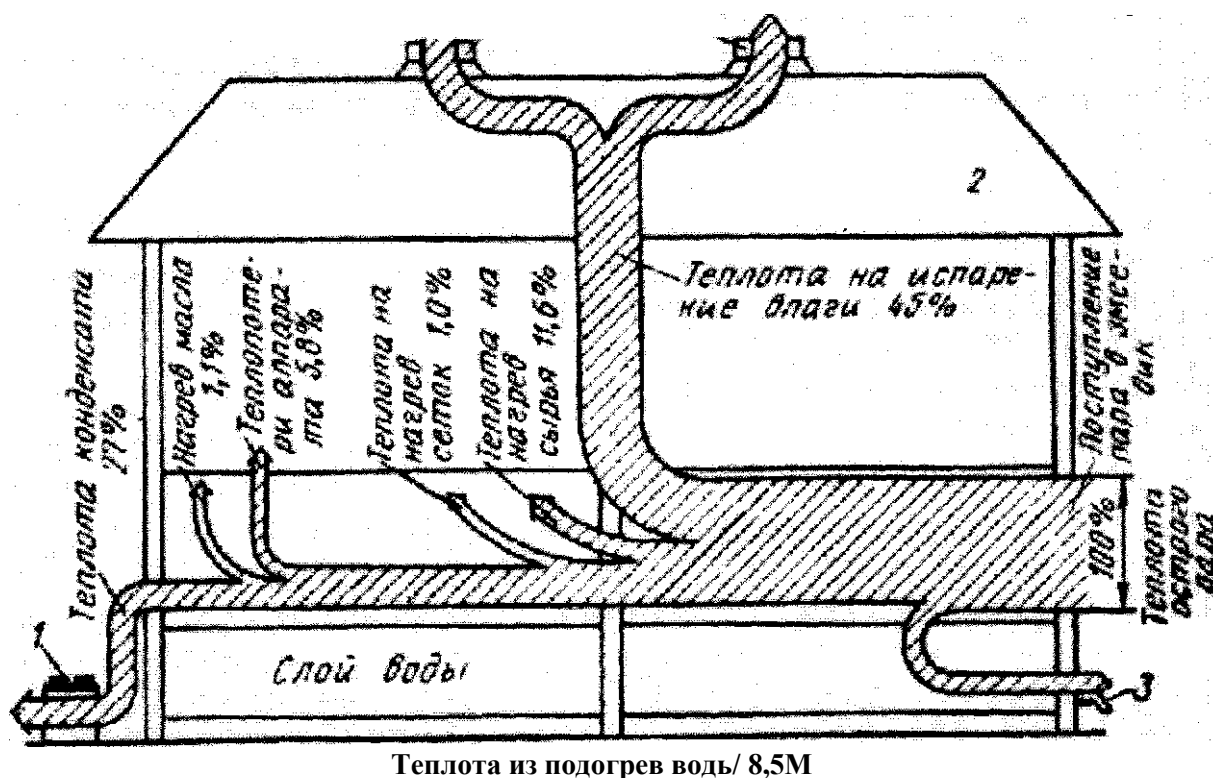


Рисунок 3.4 - Схема теплового баланса обжарочной печи:
1 - конденсатоотводчик, 2 - вытяжной зонтик, 3 - кран слива воды

Графическое изображение теплового баланса печи показано на рис. 3.4. Потери теплоты в окружающую среду и с охлаждающей водой составляют 14,8%. Эти потери теплоты не связаны непосредственно с обжариванием продукта и должны быть сведены до минимума. Расход теплоты можно уменьшить путем изоляции стенок аппарата и использования теплоты охлаждающей воды, конденсата и паров испаренной влаги.

При расчете трубопроводов необходимо определить диаметр вытяжной трубы для удаления смеси пара и воздуха (м)

$$d = \sqrt{\frac{4(V_{\text{П}}+V_{\text{В}})}{\pi v}} \quad (3.19)$$

где – $V_{\text{П}}$ объем паров, образующихся при обжаривании, м³/с; $V_{\text{П}} = m_{\text{вл}}V_{\text{уд}}$; $m_{\text{вл}}$ - масса удаляемой влаги, кг/с; $V_{\text{уд}}$ - удельный объем пара, кг/м³; $V_{\text{В}}$ - объем воздуха, увлекаемого под вытяжной зоной через отверстия для загрузки и выгрузки продукта, м³/с; v — скорость движения смеси пара и воздуха, м/с.

3.6 Автоматический контроль, регулирование и управление обжарочными печами

Обжаривание проводят при определенном технологическом режиме. При этом регулированию подлежат продолжительность обжаривания сырья, температура и уровень масла в ванне, при наличии водяной подушки — температура и уровень воды.

Продолжительность обжаривания устанавливают в зависимости от расстояния, которое проходят сетки с продуктом в масле, и от скорости движения цепей транспортера, определяемой частотой вращения приводного зубчатого колеса. Таким образом, варьируя частоту вращения приводного колеса транспортера, можно изменять продолжительность обжаривания. Однако для обжарочных печей еще не разработан надежный датчик степени готовности продукта. Поэтому продолжительность обжаривания регулируется периодически при помощи вариатора скоростей. Температура масла (усредненная) в ванне печи, а также температура охлаждающей воды автоматически контролируются при помощи терморпар 1 (рис. 3.4,а) или термобаллонов (датчиков), связанных с электронным реле 2, которое включает исполнительный механизм 3, открывающий или закрывающий вентиль 4 подачи пара в нагревательную камеру либо воды в ванну печи.

Верхний уровень масла может поддерживаться постоянно только при непрерывном доливе его в ванну печи, что целесообразно производить поплавковым регулятором уровня, одна из конструкций которого показана на рис. 3.4,б. Нижний уровень масла регулируется по уровню воды, зависящему от количества ее, подводимого в аппарат и удаляемого из него. Для регулирования притока и отвода воды с сохранением в неизменном положении уровня водяного слоя требуется особое внимание. При избыточном подводе воды неизбежны повышение уровня и соприкосновение воды с греющими трубками паровой камеры, что может вызвать вскипание воды и выбрасывание горячего масла из печи.

Инженер И. И. Смирнов предложил поместить в отсек водяного пространства печи трубку, верхний конец которой должен быть установлен на уровне верхнего активного слоя масла. Вода в трубке находится на уровне масла в аппарате по закону сообщающихся сосудов. При избыточном поступлении воды в печь уровень ее, поднимает весь слой масла в аппарате. При повышении уровня зеркала масла излишек воды из трубы выльется, поэтому уровни воды и пассивного слоя масла займут исходные положения.

В Украинском научно-исследовательском институте консервной промышленности разработан автоматический регулятор уровня воды и масла. В этом приборе поверхность электродов датчика не загрязняется, благодаря чему он надежен в работе.

Регулятор уровня воды и масла представляет собой камеру, вынесенную за пределы ванны печи. Эта камера двумя трубками соединена с маслом и водой в печи. В камере установлен сифон из металлической трубки, по которому непрерывно в зависимости от уровня вытекает масло или вода на плоский электрод из нержавеющей стали. При контакте струи жидкости с электродом включается (если вода) либо отключается (если масло) электронное реле. Через него включается или отключается электромоторный исполнительный механизм, закрывающий или открывающий кран для подачи воды в печь. В воде, выходящей из обжарочных печей, содержится 0,06% масла. Для улавливания масла, уходящего с водой из печи, монтируют маслоуловитель.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте классификацию обжарочных печей.
2. Объясните основы процесса теплообмена при обжаривании.
3. Как определить продолжительность процесса обжаривания?
4. Как устроены нагревательные камеры обжарочных печей?
5. Каковы устройство и принцип работы обжарочной печи АПМП-1?
6. Объясните принцип работы печи А9-КЖД. Чем она отличается от печи АПМП-1?
7. Каковы устройство и принцип работы универсальной плиты КПП-1?
8. Как рассчитать обжарочную печь?
9. Как осуществляются автоматический контроль и регулирование уровней масла и воды в обжарочной печи?
10. Каковы общие недостатки существующих обжарочных печей?

ГЛАВА 4

4.1 Выпарные установки

Пищевые продукты, подвергающиеся выпариванию, представляют собой сложную полидисперсную систему, в которой наряду с водой (75...90%) содержатся сахар, органические кислоты, их соли, пектиновые вещества, клетчатка, витамины, красящие вещества, эфирные масла, крахмал, белки и др. Компоненты, входящие в состав выпариваемого продукта, в зависимости от режима и условий процесса вступают во взаимодействие и влияют на скорость и степень физико-химических изменений.

Вследствие удаления части влаги при выпаривании увеличиваются концентрация продукта, его плотность и вязкость, уменьшаются теплоемкость, теплопроводность и повышается температура кипения при том же давлении. При низких температурах кипения и кратковременном воздействии теплоты более полно сохраняются ценные компоненты продукта и свойственные ему цвет, вкус и запах, что благоприятно для качества готовой продукции.

Температуру кипения можно регулировать изменением давления над кипящим продуктом. При уменьшении давления температура кипения снижается.

Температура кипения ($^{\circ}\text{C}$) раствора (продукта) всегда выше температуры кипения чистого растворителя (воды) вследствие влияния растворенного вещества (температурная депрессия) и давления гидростатического столба жидкости:

$$t_K = t_p + \Delta t_D + \Delta t_r \quad (4.1)$$

где t_K — температура кипения раствора, $^{\circ}\text{C}$; t_p — температура кипения чистого растворителя, $^{\circ}\text{C}$; Δt_D — температурная депрессия, $^{\circ}\text{C}$; Δt_r — гидростатическая депрессия, $^{\circ}\text{C}$.

При интенсивном парообразовании в слое продукта небольшой высоты влияние гидростатического давления на температуру кипения раствора невелико и им можно пренебречь.

Температурная депрессия увеличивается с ростом концентрации продукта. Приближенные значения температурной депрессии ($^{\circ}\text{C}$) при кипении сахарного сиропа, фруктовых соков, сгущенного молока можно найти по эмпирической формуле Ф. М. Тарасова

$$\Delta t_D = 0,38e^{0,05+0,45n} \quad (4.2)$$

где e — основание натуральных логарифмов; n — концентрация сухих веществ, %.

Измерением температуры в объеме кипящей жидкости установлено, что непосредственно у поверхности нагрева (в слое толщиной около 2...3 мм) температура жидкости очень близка к температуре на поверхности нагрева; на некотором расстоянии от поверхности нагрева температура резко снижается до температуры кипения, соответствующей данным давлению и концентрации.

Продолжительность пребывания продукта в выпарном аппарате зависит от метода и интенсивности удаления влаги. Интенсивность удаления влаги зависит от коэффициента теплопередачи: чем выше, тем меньше время, необходимое для концентрирования продукта.

При равных условиях коэффициент теплопередачи будет больше при меньшей концентрации выпариваемой среды, более высокой температуре кипения, меньшей вязкости среды, большей скорости циркуляции продукта, чистой, без нагара поверхности нагрева, меньшем содержании воздуха или других инертных газов в греющем паре, быстром и полном удалении конденсата из греющей камеры.

Коэффициент теплоотдачи α_2 от поверхности нагрева к кипящему продукту [Вт/(м²-К)] определяют по уравнению М. А. Кичигина и Н. Ю. Тобилевича

$$\alpha_2 = \lambda/\delta \cdot 3,25 \cdot 10^{-4} [q_F \delta / (r p_{\text{п}} \lambda) c \rho]^{0,6} (g \delta^3 / \nu^2)^{0,125} (p \delta / \sigma)^{0,7}, \quad (4.3)$$

полученному из критериального уравнения

$$Nu = 3,25 \cdot 10^{-4} Pe^{0,6} Ga^{0,125} K_p^{0,7} \quad (4.4)$$

где λ , c , ρ , ν — соответственно коэффициент теплопроводности [Вт/(м-К)], теплоемкость [Дж/(кг-К)], плотность (кг/м³) и коэффициент кинематической вязкости кипящей жидкости (м/с); $\delta = \sqrt{\sigma(\rho - \rho_n)g}$ — определяющий размер, пропорциональный диаметру парового пузырька в момент отрыва его от поверхности теплообмена, м; p_n — плотность образующегося пара, кг/м³; r — теплота испарения, кДж/кг; g — ускорение свободного падения, м/с²; p — абсолютное внешнее давление над кипящей жидкостью, Па; σ — поверхностное натяжение на границе раздела пар — жидкость, Н/м; q_F — напряжение на поверхности нагрева, Вт/м, Nu , Pe , Ga — критерии Нуссельта, Пекле, Галилея; K_p — критерий давления.

С помощью уравнения (4.3), примененного для условий выпаривания продуктов консервного производства, получают приближенные значения коэффициента теплоотдачи α_2 . Однако ценность этого уравнения заключается в том, что, анализируя его, можно выявить степень влияния отдельных физических величин и параметров на коэффициент теплоотдачи. При этом надо учитывать зависимость теплоотдачи при кипении от конструкции и материала нагревательной камеры, степени измельчения взвешенных твердых частиц (клетчатки) и др.

На современном выпарном оборудовании при соответствующих режимах процесса можно концентрировать пищевые продукты с сохранением их высокого качества и экономией пара, воды и электроэнергии.

Вследствие различных технологических требований к температуре кипения при выпаривании и содержанию сухих веществ, а также разнообразия физико-химических свойств выпариваемого продукта и экономических показателей (расхода пара, электроэнергии, затраты рабочей силы и др.) процесса выпаривания создано несколько конструкций выпарных аппаратов. Классификация выпарных аппаратов, показанная на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 - Классификация выпарных установок

Запишем уравнение материального баланса

$$G = G_B + W,$$

где G — масса раствора, поступающего на выпаривание, кг; W — количество выпаренной воды, кг; G_B — масса раствора в конце выпаривания, кг.

Так как при выпаривании масса сухих веществ не изменяется, то

$$G_n/100 = G_B m/100,$$

Где n и m — начальная и конечная концентрация сухих веществ, %.

Поставив вместо G_B его значение из предыдущего выражения, получим количество выпаренной воды (кг)

$$W = G(1 - n/m) \quad (4.5)$$

Конечное содержание сухих веществ (%)

$$m = Gn / (G - W) = Gn / G_B. \quad (4.6)$$

Масса раствора в конце выпаривания (кг)

$$G_B = Gn / m \quad (4.7)$$

4.2 Открытые выпарные аппараты

Для производства томатного пюре применяют стальные выпарные аппараты открытого типа, покрытые изнутри кислотоустойчивой и термостойкой эмалью, и аппараты открытого типа из нержавеющей стали.

На рис. 4.2 показан выпарной бак, изготовленный из нержавеющей стали. Внутри бака 1, на его днище, установлена нагревательная камера-змеевик 2. Пар давлением 0,8...1,2 МПа подводится в паровую часть коллектора снизу и распределяется по трем виткам труб; конденсат отводится через вторую часть коллектора в конденсатоотводчик. Площадь поверхности нагрева двух секций 4,25...5,5 м. Продукт, подлежащий выпариванию, загружается через загрузочный люк 4, а выгружается по патрубку 3.

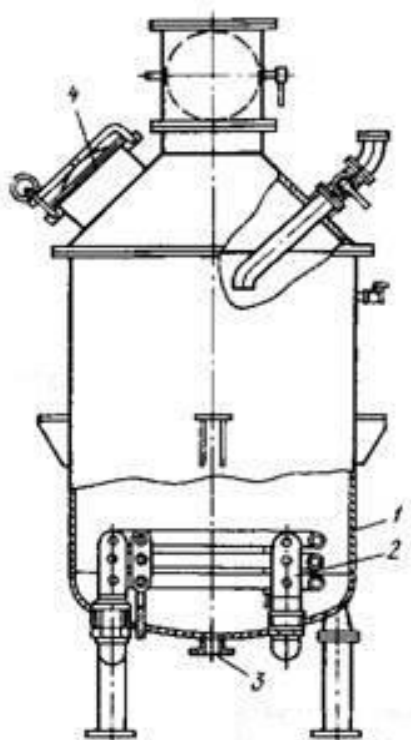


Рисунок 4.2 - Выпарной бак

Основной показатель работы бака — испарительная способность 1 м^2 поверхности нагрева за 1 ч, т. е. количество воды, испаряемой 1 м^2 поверхности змеевиков за 1 ч.

При концентрировании томатной массы до 15% сухих веществ и нормальной работе бака испарительная способность $1000 \text{ кг}/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$. Повышение испарительной способности достигается при соблюдении следующих условий: температура поступающей на выпаривание томатной массы $95\text{...}98^\circ\text{C}$; давление греющего пара в змеевиках 1 МПа ; непрерывный долив продукта при толщине слоя продукта над змеевиками около 100 мм ; периодическое продувание змеевика паром для удаления скопляющегося воздуха; непрерывный отвод конденсата; отсутствие нагара на змеевиках.

При наличии нагара на змеевиках резко снижается коэффициент теплопередачи, увеличивается продолжительность варки, ухудшается качество продукта. Причины образования нагара следующие: карамелизация сахаров, содержащихся в томатной массе; подсушивание и обугливание клетчатки, частицы которой при длительном соприкосновении томата с горячей поверхностью нагрева склеиваются пектиновыми веществами. Если продукт находится в состоянии движения или температура поверхности нагрева не превышает 105°C , нагар не образуется.

Средний коэффициент теплопередачи при подогреве протертых томатов $K_1 = 5800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, при их выпаривании $K_2 = 8100 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. При непрерывной работе выпарного бака, когда загрузка и отбор уваренного продукта поддерживаются постоянными, коэффициент теплопередачи ниже, чем при периодической работе: при 15% сухих веществ $K = 5800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

4.3 Однокорпусные вакуум-аппараты

Для получения продукта высокого качества, который имел бы натуральные цвет, вкус, аромат и в котором сохранились бы витамины, концентрирование проводят в вакуум-аппаратах при температурах кипения ниже 100°C и давлении меньше атмосферного. Наиболее простыми являются однокорпусные вакуум-аппараты. Для создания вакуума и поддержания его во время работы аппарата применяют конденсатор и вакуум-насос.

В однокорпусных вакуум-аппаратах раствор концентрируется в одном корпусе, а вторичные пары направляются в конденсатор. Воздух из вторичных паров отсасывается вакуум-насосом. В многокорпусных вакуум-аппаратах продукт последовательно концентрируется в нескольких корпусах, а вторичные пары используются в последующих корпусах.

Корпус вакуум-аппарата в большинстве случаев имеет цилиндрическую или шаровидную форму, являющуюся наиболее устойчивой в отношении внешнего избыточного давления. Для аппаратов с цилиндрическим корпусом верхний колпак и днище чаще всего делают конической или сферической

формы. Производительность аппарата зависит от режима его работы и вместимости корпуса. При работе по принципу непрерывного долива вместимость корпуса может быть минимальной и зависит от полезного объема. Для обеспечения интенсивного теплообмена вместимость корпуса делают такой, чтобы отношение площади поверхности нагрева к полезному объему (постоянный объем, занимаемый массой в вакуум-аппарате) было бы как можно большим.

Корпус вакуум-аппарата выполняют из стали. Наиболее устойчивой против органических кислот, содержащихся в пищевых продуктах, является нержавеющая сталь марок 1X18H9, 2X18H9 (хромоникелевая) и 1X18H9Т (хромоникелевая с титаном). При применении стали других марок обязательно защитное покрытие.

Конструкции нагревательных камер в вакуум-аппаратах обусловлены свойствами выпариваемых продуктов, режимом работы и площадью поверхности нагрева. Густые и вязкие продукты выпаривают в аппаратах с двухстенной нагревательной камерой, в которых продукты удобно перемешивать механическими мешалками. Если необходима развитая поверхность нагрева (например, при малой разности температур), применяют трубчатую нагревательную камеру, расположенную внутри корпуса аппарата или вынесенную за его пределы.

Пар целесообразно подводить в нагревательную камеру в нескольких местах, так как при этом обеспечивается равномерное нагревание продукта по всему сечению аппарата и создаются лучшие условия для стекания конденсата. Неконденсирующиеся газы отводят из нагревательной камеры в двух-трех местах по ее высоте. Скопление газов, вероятнее всего, возможно в местах отвода конденсата, где нет движения пара.

Унос частиц продукта из корпуса аппарата может быть предотвращен при большом объеме надсокового пространства главным образом благодаря высоте корпуса; при установке ловушек-каплеуловителей, в которых резко изменяются направление и скорость движения вторичного пара с частицами продукта.

П л а с т и н ч а т ы й в а к у у м - а п п а р а т включает в себя пластинчатый теплообменник и сепаратор для отделения пара. Нагревательная камера выпарного аппарата с пластинчатой поверхностью нагрева состоит из пластин толщиной около 1 мм, изготовленных из нержавеющей стали. Когда пластины сжаты, то благодаря прокладкам из отверстий в пластинах образуются круглые герметичные сквозные каналы; при этом между пластинами образуются плоские каналы (полости) с гофрированными стенками.

Из одного круглого канала через небольшие щели в прокладке продукт поступает в плоские каналы между пластинами. Из другого круглого канала в смежные полости движется теплоноситель. С противоположного конца пластины продукт и теплоноситель переходят в выходные круглые каналы.

Таким образом, с одной стороны каждой пластины движется продукт, а с другой (в противоположном направлении) — теплоноситель. Протекая тонким слоем в полости между двумя пластинами, продукт подвергается двухстороннему интенсивному нагреву до кипения. Кипящий продукт с большой скоростью поступает в сепаратор. Вторичные пары затем направляются в конденсатор, а концентрированный продукт из пароотделителя откачивается насосом.

Преимущества пластинчатой поверхности нагрева по сравнению с другими конструкциями нагревательных камер следующие:

- высокие коэффициенты теплопередачи из-за перемещения продукта тонким слоем (примерно 2...4 мм) и с большой скоростью (1...3м/с);
- незначительное время соприкосновения продукта с горячей поверхностью нагрева, что очень важно для термочувствительных продуктов;
- возможность изменения размера поверхности нагрева; компактность и небольшая занимаемая площадь; легкость осмотра, разборки, мойки и очистки поверхности нагрева от нагара.

Тепловой расчет однокорпусного вакуум-аппарата выполняется следующим образом. При работе однокорпусного вакуум-аппарата тепловая энергия затрачивается на следующие статьи.

1. Теплота, расходуемая на нагрев загружаемого продукта, как первоначального, так и доливаемого (Дж),

$$Q_1 = Gc(i_2 - t_1)$$

где G — масса загружаемого продукта, кг; c — удельная теплоемкость продукта, Дж/(кг·К).

Если температура загружаемого продукта t_1 равна температуре его кипения t_2 , то расход теплоты на нагрев продукта равен нулю. Если $t_1 > t_2$, то расход теплоты оказывается отрицательным. Это означает, что при охлаждении перегретого продукта освобождается тепловая энергия, которая расходуется на самоиспарение.

2. Теплота, расходуемая на выпаривание влаги (Дж),

$$Q_2 = Wr,$$

где W — масса выпаренной влаги, кг; r — теплота испарения, Дж/кг.

Расход теплоты на компенсацию потерь теплоты в окружающую среду (Дж)

$$Q_3 = \alpha_0 F_{\text{изл}} \tau (t_{\text{cm}} - t_6)$$

где α_o - суммарный коэффициент теплопередачи, Вт/(м²-К); $F_{изл}$ - площадь поверхности излучения, м²; τ - продолжительность процесса, с; t_{cm} - температура поверхности стенки излучения, °С; t_θ - температура воздуха, °С.

3. Расход теплоты (Дж) на нагрев аппарата (учитывают только % при периодической работе)

$$Q_4 = G_a c_a (t_4 - t_3)$$

где G_a - масса аппарата, кг; c_a - теплоемкость материала аппарата, Дж/(кг-К); t_3 и t_4 - начальная и конечная температуры аппарата, °С.

Расход пара (кг)

$$D = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_A) / (i - i_K),$$

где: $i - i_K$ - удельная энтальпия греющего пара и конденсата, Дж/кг.

В однокорпусных вакуум-аппаратах расход пара 1,2... 1,3 кг на 1 кг выпаренной воды.

Тепловую производительность вакуум-аппарата, площадь поверхности нагрева или продолжительность выпаривания определяют из общего уравнения теплопередачи

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = F \Delta t K \tau, \quad (4.8)$$

где F - площадь поверхности нагрева, м²; Δt — разность температур, °С; K - коэффициент теплопередачи, Вт/(м²-К); τ - продолжительность выпаривания, с.

Во время выпаривания коэффициент теплопередачи K и полезная разность температур Δt остаются постоянными только при непрерывной варке, неизменном давлении греющего пара и постоянном вакууме в аппарате. Во всех остальных случаях эти величины изменяются (чаще всего уменьшаются) из-за повышения концентрации продукта, снижения интенсивности циркуляции, температурной депрессии и т. п.

При расчетах пользуются средним коэффициентом теплопередачи, полученным опытным путем.

В процессе выпаривания при непрерывном повышении концентрации продукта полезная разность температур Δt уменьшается из-за температурной депрессии. С достаточной для практических целей точностью можно считать, что при любом разрежении температурная депрессия будет такой же, как и при атмосферном давлении.

Так как температурная депрессия есть функция концентрации, то в расчетах необходимо принимать температурную депрессию (или температуру кипения среды) при средней концентрации.

Основные конструктивные расчеты вакуум-аппаратов выполняют следующим образом.

Вместимость аппарата (м^3)

$$V = V_{np} + V_k + V_{II}$$

где V_{np} - объем продукта в аппарате, м; V_k - вместимость нагревательной камеры, м; V_{II} - объем парового пространства, м^3 .

В выпарных аппаратах с двухстенной нагревательной камерой объем увариваемого продукта должен быть равен вместимости чаши или быть больше нее. В противном случае часть поверхности нагрева будет оголена, что приведет к снижению производительности аппарата и образованию нагара.

Из теплового расчета находят площадь поверхности нагрева F , затем задаются высотой цилиндрической части поверхности нагрева h_1 и выбирают отношение между радиусом чаши a и высотой сферического сегмента h ; обычно $a = h \dots 2h$. Из уравнения

$$F = \pi(a^2 + h^2) + 2\pi a^2 h \quad (4.9)$$

определяют величину h , а затем a .

По полученным размерам рассчитывают вместимость сосуда (м^3)

$$V_c = 1/[6\pi h(3a^2 + h^2) + \pi a^2 h] \quad (4.10)$$

При этом должно быть соблюдено условие $V_c \geq V_{np}$.

Размеры парового пространства над раствором устанавливают в зависимости от необходимой степени выделения из вторичного пара капель концентрируемого продукта. Количество частиц продукта, уносимых вторичным паром, зависит от высоты подъема их над уровнем жидкости. Высота подъема частиц обуславливается скоростью движения вторичных паров, поверхностным натяжением и вязкостью продукта, а также размером частиц, образующихся при кипении продукта.

Высота и диаметр аппарата зависят от условий концентрирования продукта и конструктивных особенностей. При определении высоты и диаметра аппарата учитывают объем продукта, конструкцию нагревательной камеры, объем парового пространства над раствором и высоту подъема частиц продукта. Отношение высоты парового пространства к общей высоте корпуса не должно быть менее 1:2, при этом предотвращается выбрасывание в паропровод вспенивающегося, бурно кипящего продукта.

Стенки цилиндрического корпуса вакуум-аппарата при избыточном внешнем давлении чаще всего деформируются по двум причинам: вследствие потери аппаратом устойчивости из-за недостаточной толщины стенки, если внешнее давление равно критическому или больше него, при котором наблюдается потеря устойчивости; из-за плохого монтажа или ремонта аппарата, если были допущены отклонения от цилиндрической формы корпуса аппарата более 0,5% его радиуса, т. е. более $0,005R$.

Наименьшее критическое давление (Па), при котором теряется устойчивость цилиндрических аппаратов, имеющих кольца жесткости (крышки, днища, фланцы, трубные решетки),

$$P_{кр} = 2,6E/(x^2y\sqrt{x}) = 2,6ED/(Lx^2\sqrt{x}), \quad (4.11)$$

где: E - модуль упругости, Па; x - отношение диаметра цилиндрической части к толщине стенки; y - отношение длины цилиндрической части к диаметру; D - диаметр цилиндра, м; L - длина цилиндрической части корпуса аппарата или расстояние между жесткими креплениями корпуса, м (см).

$$x = D/\delta_{иу} = L/D,$$

где δ - толщина стенки аппарата, м.

Допускаемое наружное избыточное давление (Па)

$$P_{нар} = P_{кр}/m \quad (4.12)$$

где m — коэффициент запаса устойчивости цилиндрической обечайки.

При обычной точности изготовления аппаратов, когда отклонение корпуса от цилиндрической формы меньше $0,005R$ (радиуса аппарата), для углеродистых сталей $m=5...6$, для цветных металлов и легированных сталей $m=4...5$.

Толщину стенки цилиндрического корпуса аппарата, работающего под наружным избыточным давлением, можно определить следующим образом. Подставим значение $p_{кр}, p_{нар}$ и m в уравнение (4.11) и заменим величину x через D/δ , тогда толщина стенки аппарата (м)

$$\delta = D[p_{нар} m y / (2,6E)]^{0,4} + C, \quad (4.13)$$

где C — величина, учитывающая химический износ материала ($C=0,001...0,003$ м).

Нагревательную камеру выпарного аппарата проверяют на прочность путем тщательного осмотра и гидравлического испытания; чаще всего она разрушается из-за коррозии материала трубок, трубных решеток и днищ.

4.4 Компрессионные вакуум - аппараты

При концентрировании продуктов в однокорпусных вакуум-аппаратах расходуется 1,2... 1,3 кг пара на 1 кг выпаренной воды. При этом 75% всей затрачиваемой тепловой энергии остается во вторичных парах, направляемых на конденсацию. Использование теплоты вторичных паров в тепловых аппаратах ограничивается из-за их низкой температуры ($50...60^\circ\text{C}$). Однако энтальпия вторичных паров температурой $50...60^\circ\text{C}$ сравнительно мало отличается от энтальпии водяного насыщенного пара температурой $120...430^\circ\text{C}$.

Поэтому очень выгодно использовать в тепловых аппаратах в качестве теплоносителя вторичный пар. Для этого его предварительно сжимают, в результате чего давление и температура его повышаются.

При увеличении степени сжатия вторичных паров повышается расход энергии, поэтому вторичный пар сжимают только до определенного предела. Минимальное повышение температуры вторичного пара при сжатии $8...12^{\circ}\text{C}$ и определяется необходимым перепадом между температурами пара и среды, воспринимающей теплоту. При таком перепаде температур обеспечивается нормальная интенсивность теплообмена, хотя в этих условиях необходима сравнительно большая поверхность нагрева. Устройство для сжатия вторичных паров называют тепловым насосом. В качестве теплового насоса широко применяют инжекторы, реже — компрессоры и турбокомпрессоры.

Вакуум-аппараты, работающие на сжатом вторичном паре, называют вакуум-аппаратами с тепловым насосом, или компрессионными вакуум-аппаратами.

Вакуум-аппарат с пароструйным тепловым насосом (рис.4.3), известный под названием концентратор, предназначен для концентрации томатпродуктов до содержания $15...18\%$ сухих веществ. Внутри корпуса 1 установлена трубчатая вертикальная нагревательная камера 12 с циркуляционной трубой 10, а снаружи — пароструйный тепловой насос 2.

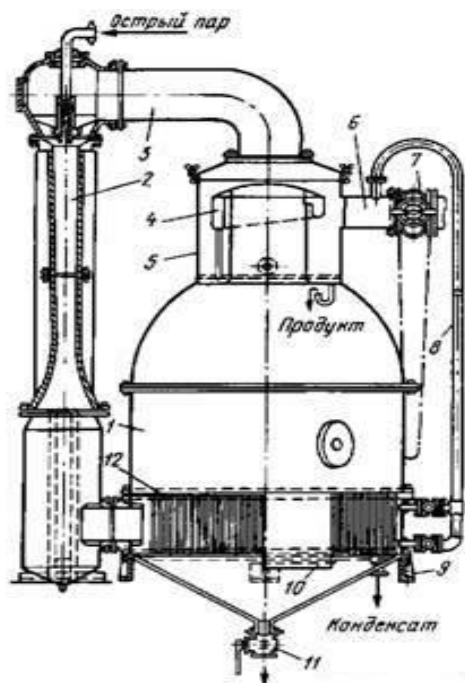


Рисунок 4.3 - Вакуум-аппарат с пароструйным насосом:

- 1 – корпус; 2 – пароструйный насос; 3 – соединительный трубопровод; 4 – ловушка; 5 – колпак; 6 – штуцер; 7 – задвижка; 8 – труба для отвода газа; 9 – опора; 10 – циркуляционная труба; 11 – пробковый кран; 12 – нагревательная камера

Нагревательная камера концентратора образована из двух плит толщиной 16 мм, в которые вальцованы $1780...1800$ трубок диаметром $30/33$ мм и длиной 600 мм. Для лучшей циркуляции продукта между плитами эксцентрично установлена циркуляционная труба диаметром 540 мм.

Общая площадь поверхности нагрева $97...108$ м.

Концентратор работает под вакуумом $87...91$ кПа, что соответствует температуре

кипения томатной массы $52...58^{\circ}\text{C}$. При заполнении трубок по высоте примерно на $450...500$ мм объем загружаемой массы $1500...1600$ дм

Острый пар давлением $0,8...1,1$ МПа, проходя через сопло расширения (сопло Лавая), помещенное в головке теплового насоса, расширяется до

давления вторичного пара 12,5...13,6 кПа. При этом скорость острого пара значительно увеличивается, достигая в ряде случаев 1000 м/с, что больше критической скорости. Вследствие столкновения частиц острого и вторичного пара, имеющих сравнительно небольшую скорость, а также благодаря трению этих частиц часть кинетической энергии острого пара передается вторичному пару, скорость движения образующейся при этом смеси больше скорости движения вторичного пара и меньше скорости движения острого пара. Однако давление смешанного пара равно давлению вторичного пара. Количество вторичного пара, инжестируемого 1 кг острого пара, называют коэффициентом инжестии и обозначают U . Смешанный пар проходит через камеру сжатия, представляющую собой два усеченных конуса, соединенных меньшими основаниями; при этом скорость пара уменьшается, а за счет этого увеличивается его давление. После такого сжатия получается греющий пар давлением 25...30 кПа, поступающий в нагревательную камеру вакуум-аппарата. Температура греющего пара 65...70° С. При этих условиях коэффициент инжестии составляет 0,8... 1,0.

Коэффициент теплопередачи $K = 1850...2000$ Вт/(м²·К). Расход пара на 1 кг выпаренной воды 0,5...0,6 кг/кг.

Концентрирование томатной массы с 4,5...5,5% до пюре, содержащего 15...18% сухих веществ, при получении готовой продукции в количестве 1600...1700 кг продолжается около 2100 с, время полного оборота аппарата составляет примерно 3000 с (50 мин).

Выпарной аппарат аналогичной конструкции с пароструйным тепловым насосом фирмы «Гольдерн и Грим» и площадью поверхности нагрева 75 м² предназначен для получения томатного пюре с содержанием 12...15% сухих веществ.

Расход острого пара при работе вакуум-аппарата с пароструйным тепловым насосом можно определить следующим образом.

Вначале рассчитывают расход греющего пара (кг)

$$D = Q_{\text{общ}} / (i_n - i_k)$$

где i_n - удельная энтальпия конденсата и греющего пара, кДж/кг.

Общий расход теплоты на выпаривание (кДж)

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + Q_3,$$

где Q_1 - расход теплоты на нагрев доливаемой массы, кДж; Q_2 - расход теплоты на испарение воды из массы, кДж; Q_3 - теплопотери, кДж.

Расход греющего пара (кг)

$$D = D_o + D_c,$$

где D_0 - расход острого пара, кг; D_c - расход инжектируемого вторичного пара, кг.

Так как коэффициент инжекции

$$U = D/D_0 \text{ то } D_c = UD_0.$$

Подставим вместо D_c его значение UD_0 :

$$D = D_0(1 + U),$$

откуда расход острого пара (кг)

$$D_0 = D/(1 + U) = \frac{Q_{\text{общ}}}{(1+U)(i_n - i_k)},$$

Коэффициент инжекции находят при помощи диаграммы по приближенному уравнению

$$U = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \sqrt{h'_a / h''_a} - 1, \quad (4.15)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ - коэффициенты, учитывающие потери скорости пара от трения и ударов в сопле расширения, в камере смешения и в камере сжатия ($\varphi_1=0,95$; $\varphi_2=0,9$ и $\varphi_3=0,95$); h'_a — теоретический теплоперепад при адиабатическом расширении острого пара от давления острого пара p_1 до давления вторичного пара p_2 кДж/кг (h'_a находят по диаграмме I-S); h''_a — теоретический теплоперепад при адиабатическом сжатии смешанного пара от давления p_3 до давления греющего пара p_4 , кДж/кг (h''_a находят по диаграмме I-S).

Для определения теплоперепада вначале находят энтальпию смешанного пара (кДж/кг)

$$i_3 = (i_1 + Ui_c)/(1 + U) - [\varphi_1^2 \varphi_2^2 / (1 - U)^2] h'_a, \quad (4.16)$$

где i_1 и i_c - удельная энтальпия острого и вторичного пара, кДж/кг.

При расчетах принимают $[\varphi_1^2 \varphi_2^2 / (1 - U)^2] = 0,22$, тогда

$$i_3 = (i_1 + Ui_c)/(1 + U) - 0,22h'_a, \quad (4.17)$$

При расчете i_3 принимают $U = 0,8 \dots 1,0$. Если рассчитанный коэффициент инжекции отличается от принятого в первом приближении, то расчет повторяют.

Удельный расход острого пара на 1 кг выпаренной воды (кг)

$$D_{y\partial} = D_0/W,$$

где W — количество выпаренной воды, кг.

Количество вторичных паров, направленных на конденсацию (кг/с),

$$D_k = W - UD_0. \quad (4.18)$$

Количество инжектируемого вторичного пара (кг/с)

$$D_u = UD_0 \quad (4.19)$$

Низкотемпературную выпарную установку с компрессионной холодильной установкой (аммиачной или фреоновой) в качестве теплового насоса целесообразно применять в том случае, если конденсат вторичных паров (например, при концентрировании цитрусового сока) имеет определенную ценность и температура кипения сока не превышает 25°C .

В низкотемпературной выпарной установке (рис. 4.4) в качестве холодильного агента использован аммиак.

Сжатые компрессором до давления 1,58 МПа пары аммиака температурой 40°C поступают в межтрубное пространство испарителя вакуум-аппарата 1. Конденсируясь при 40°C , пары аммиака отдают свою теплоту парообразования на испарение воды из сока. В вакуум-аппарате вода испаряется при температуре кипения 25°C ; давление вторичных паров 3,2 кПа.

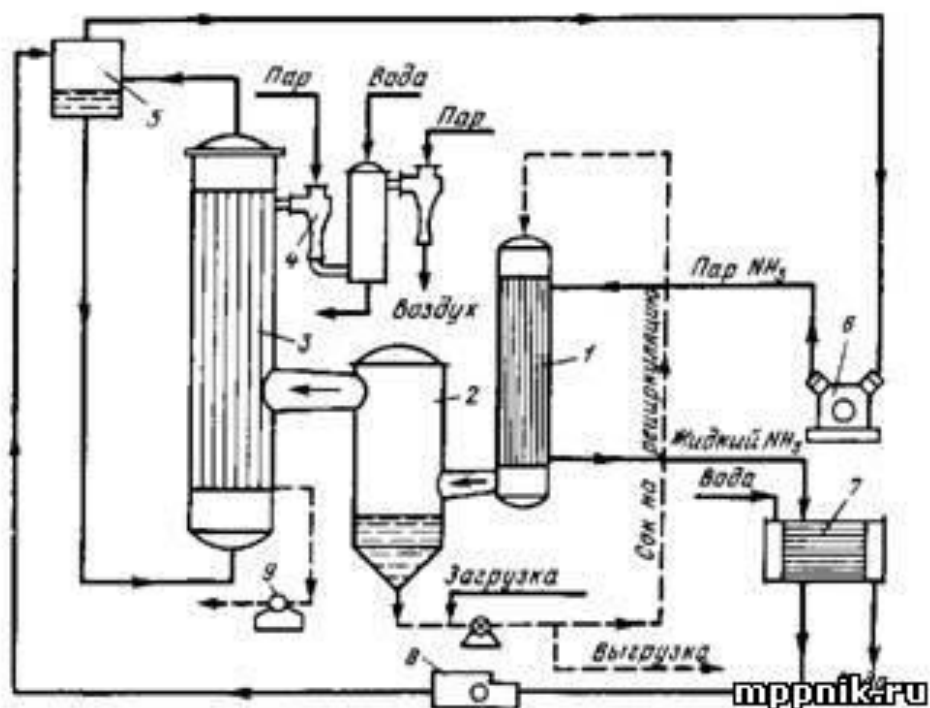


Рисунок 4.4- Низкотемпературная выпарная установка

Сконденсировавшийся жидкий аммиак проходит через переоохладитель 7; здесь температура его снижается с 40 до 35°C . Затем аммиак проходит через регулирующий вентиль 8, где дросселируется от давления 1,58 МПа до давления $0,47$ МПа, и направляется в емкость 5, при этом температура его снижается до 2°C . Затем жидкий аммиак попадает в трубку конденсатора 3.

Вторичные пары из сепаратора 2 поступают в конденсатор 3; здесь они конденсируются, отдавая свою теплоту парообразования жидкому аммиаку,

имеющему температуру 2°C . Часть вторичных паров, по массе равная количеству влаги, выпаренной в результате работы компрессора 6, вместе с воздухом откачивается двухступенчатым эжекторным насосом 4. Остальная часть вторичных паров уже в виде конденсата откачивается насосом 9.

В конденсаторе 3 жидкий аммиак испаряется, отбирая теплоту от конденсирующихся вторичных паров; отсюда в виде пара давлением 0,47 МПа и температурой 2°C аммиак всасывается компрессором 6; здесь пары аммиака снова сжимаются до давления 1,58 МПа, а температура повышается до 40°C .

Выпарная установка работает за счет затраты механической энергии в компрессоре, при этом не требуются водяной пар для выпаривания и охлаждающая вода для конденсации вторичных паров. Процесс конденсации происходит при низких температурах кипения сока.

В низкотемпературных выпарных аппаратах при сгущении фруктовых соков используется принцип «падающей пленки»: сок тонкой пленкой движется по внутренней поверхности вертикальных труб сверху вниз. В эту же сторону движутся и вторичные пары. При этом концентрация, вязкость и температура кипения сока повышаются, вследствие чего уменьшаются коэффициент теплопередачи и полезная разность температур.

Низкотемпературные пленочные выпарные установки выпускают производительностью 0,05...3,6 кг/с выпариваемой воды (18...13 000 кг/ч) с компрессорами мощностью 0,25...550 кВт. Производительность выпарной установки, холодопроизводительность холодильного компрессора, а также мощность компрессора находят при помощи диаграммы T-S для холодильного агента. Если задано количество воды, выпариваемой в выпарной установке, холодопроизводительность холодильного компрессора (Вт)

$$Q_o = Q T_o / T, \quad (4.20)$$

где Q - количество теплоты, затрачиваемой на выпаривание воды в выпарном аппарате (Вт);

$$Q = W r,$$

W - количество воды, выпаренной в аппарате, кг/с; r - теплота парообразования, Дж/кг; T_o — температура испарения холодильного агента, К; T - температура конденсации холодильного агента, К (T_o и T находят по диаграмме T - S).

Производительность выпарной установки при известной холодопроизводительности компрессора (кг/с)

$$W = (Q_o / r)(T / T_o) \quad (4.21)$$

Так как в конденсаторе выпарной установки не весь вторичный пар конденсируется в результате испарения холодильного агента, то остающиеся вторичные пары необходимо удалять вместе с воздухом при помощи эжекторного вакуум-насоса в количестве (кг/с)

$$W_B = (Q - Q_o) / r \quad (4.22)$$

Теоретическая мощность компрессора (кВт)

$$N_T = Q_o (i_2 - i_1) / (i_1 - i_3) \quad (4.23)$$

где $i_2 i_1 i_3$ - удельная энтальпия холодильного агента после испарения перед сжатием в компрессоре, после сжатия и до испарения, после дросселирования, кДж/кг (i_1, i_2, i_3 находят по диаграмме T - S для холодильного агента).

Эффективная мощность компрессора (кВт)

$$N = N_T / \eta, \quad (4.24)$$

где η - общий КПД компрессора;

$$\eta = \eta_u \eta_m \eta_n \eta_d$$

η_u и η_m - индикаторный и механический КПД компрессора; η_n и η_d - КПД передачи и электродвигателя.

Анализ статей расхода теплоты при работе низкотемпературной выпарной установки показывает, что из-за низких температур кипения расход теплоты на нагрев сока очень мал. Однако на выпаривание в них расходуется значительно больше теплоты, чем в обычных выпарных установках, так как теплота парообразования при низких температурах кипения очень велика. В такой установке из-за низких температур на поверхности аппарата потери теплоты в окружающую среду очень малы, а в ряде случаев наблюдается приток теплоты к аппарату извне.

Из приведенного расчета мощности компрессора следует, что удельный расход энергии (на 1 т испаренной воды) снижается при уменьшении разности между температурами вторичных паров в калоризаторе вакуум-аппарата и в конденсаторе. Это возможно в двух случаях: при более низких температурах паров аммиака после сжатия и при более высоких температурах их после дросселирования или при более низких температурах конденсации аммиака и более высоких температурах его испарения.

При экономичных режимах выпаривания — при малых разностях температур в нагревательной камере вакуум-аппарата — необходимо применение развитой (большой) поверхности нагрева, для чего может быть использована трубчатая нагревательная камера. Целесообразность такой схемы концентрирования обуславливается экономическими показателями при определенных условиях

Аппарат для криоконцентрирования плодово-ягодных соков был создан в Дагестанском политехническом институте, ныне в Дагестанском государственном техническом университете (рис. 4.5). В цилиндрическом корпусе 2 аппарата, закрепленном на станине 14, размещен испаритель, состоящий из змеевика 5, внутренней 4 и наружной 5 стенок цилиндрической формы, полость между которыми заполняется рассолом. Между наружной стенкой 5 испарителя и корпусом 2 аппарата имеется теплоизоляционный слой 6. Внутри рабочей полости аппарата по его оси установлен вертикальный вал 7 со скребком 15 для скалывания намерзшей на рабочей внутренней стенке 4 испарителя пленки льда. На верхний конец вала 7 жестко насажен шнек 9 для удаления сколотых кристаллов льда из аппарата. Аппарат имеет лоток 8 для отвода массы льда в центрифугу, патрубок 10 для подачи свежего сока и патрубок 1 для удаления готового концентрированного сока в сборник концентрата. На нижний конец вала 7 жестко насажена звездочка 13 цепной передачи от электропривода 12. Место выхода вала 7 из рабочей полости аппарата снабжено сальником 11 для обеспечения герметичности последней.

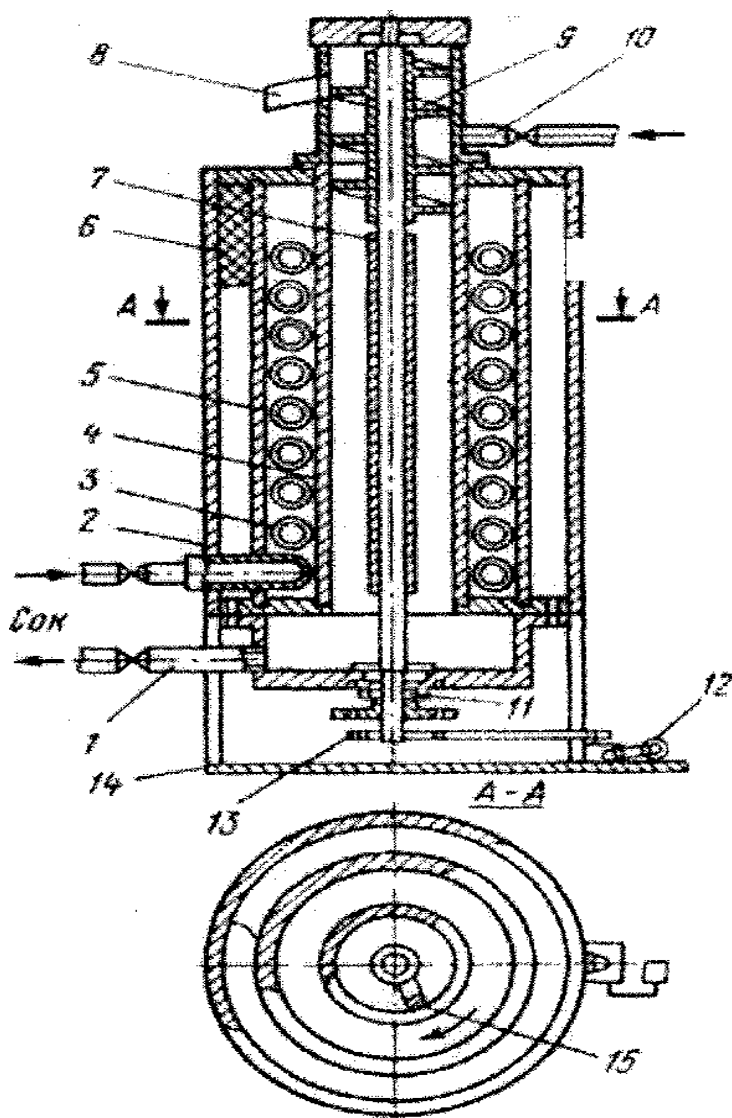


Рисунок 4.5 - Криоконцентратор

При работе аппарата в испарителе устанавливается температура кипения жидкого хладагента, оптимальная для получения сока требуемой концентрации. Свежий сок, предварительно охлажденный до температуры, близкой к температуре заморозки воды, подается в центрифугу для промывки ледяной массы, а затем через патрубок 10 выпрыскивается на кристаллы льда, выталкиваемые шнеком 9 из рабочей полости аппарата, и стекает вниз. Электропривод 12 приводит во вращение вертикальный вал 7, вместе с ним вращается и скребок 15, который скалывает намерзшую на рабочую внутреннюю стенку 4 испарителя пленку льда и одновременно служит смесителем концентрируемого сока в рабочей полости аппарата. Таким образом добиваются вымораживания воды из сока до необходимой его концентрации, не замораживая при этом всего

продукта. Готовый концентрированный сок из нижней части рабочей полости аппарата по патрубку 1 поступает в сборник концентрата.

Сколотый скребком 15 лед удаляется шнеком 9 из рабочей камеры и по лотку 8 подается в центрифугу для отделения оставшегося концентрата сока от льда. Промытая свежим соком ледяная масса используется для дальнейших технологических нужд.

Процесс вымораживания и удаления части влаги в виде льда из плодово-ягодных соков идет непрерывно. Аппарат можно использовать для концентрирования только термолабильных продуктов.

4.5 Многокорпусные выпарные установки

Установка, в которой вторичные пары первого аппарата используются в качестве греющего пара во втором, а вторичные пары второго аппарата — в качестве греющего пара в третьем аппарате и т. д., называется многокорпусной, а каждый аппарат — корпусом. В этих условиях нагревательная камера второго аппарата выполняет роль поверхностного конденсатора для первого. При такой схеме работы значительно снижается расход пара.

Многокорпусные выпарные установки широко применяют на консервных заводах главным образом в виде двухкорпусной и реже — в виде трехкорпусной установки для производства томатопродуктов.

Производительность многокорпусной выпарной установки не зависит от числа корпусов; при площади поверхности нагрева каждого корпуса F и сумме перепадов температур во всех корпусах Δt установка имеет такую же производительность, как и однокорпусная выпарная установка с площадью поверхности нагрева F и разностью температур Δt .

При увеличении числа корпусов уменьшается расход пара. Однако при некотором числе корпусов экономия пара становится настолько мала, что не оправдывает расходов, связанных с установкой еще одного корпуса. Другой причиной, ограничивающей большое число корпусов, является то, что при введении дополнительного корпуса уменьшается разность между температурами греющего пара и продукта в каждом аппарате. Минимальная разность температур, при которой возможна теплопередача в производственных условиях, должна быть не менее $12...15^\circ\text{C}$ в каждом корпусе; это и ограничивает число корпусов выпарной установки. Разность температур распределяется по корпусам неравномерно, так как зависит от технологического режима, коэффициентов теплопередачи, параметров греющего и вторичного пара. В первом корпусе разность температур наименьшая, а в последнем — наибольшая. Из-за потерь, связанных с температурной депрессией (разность между температурами кипения раствора и чистого растворителя), влияния гидростатического столба жидкости и потерь теплоты при движении вторичного пара из одного аппарата в другой полезная разность температур Δt меньше полной разности температур $\Delta t_{\text{пол}}$ на величину температурных потерь $\Delta t_{\text{П}}$:

$$\Delta t = \Delta t_{\text{пол}} - \Delta t_{\text{П}}$$

При концентрировании томатпродуктов до 18...20% сухих веществ можно принимать следующие потери температур Δt для двухкорпусной установки 5,8 °С, для трехкорпусной - 8,2 °С. Двухкорпусная вакуум-выпарная установка (рис. 4.6, а) работает на паре давлением 80... 130 кПа. Корпуса I и II имеют трубчатые нагревательные камеры (концентраторы).

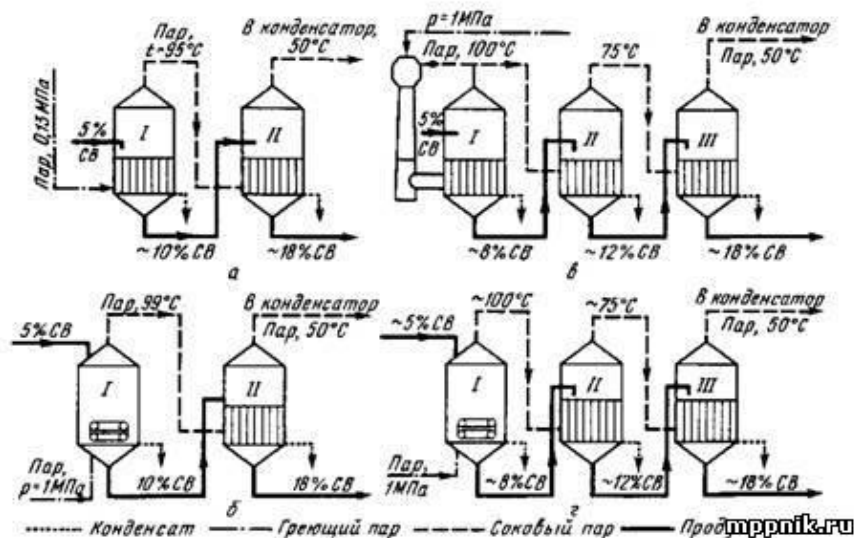


Рисунок 4.6 - Схема многокорпусных вакуум-выпарных установок

На рис. 4.6, б, г изображены двух- и трехкорпусная установки, в которых корпус I является выпарным баком; в качестве корпусов II и III использованы концентраторы с трубчатыми нагревательными камерами. В корпус I из котельной подводится пар давлением 0,9...1,1 МПа.

Трехкорпусная выпарная установка (рис. 4.6, в) имеет один корпус с пароструйным тепловым насосом, работающим на паре давлением 0,8...1,0 МПа. Все три корпуса представляют собой концентраторы с трубчатой нагревательной камерой.

Наиболее экономичной является схема, изображенная на рис. 4.6, а, поскольку она обеспечивает возможность использования отработавшего пара турбины. При потреблении пара высокого давления непосредственно на выпаривание целесообразны схемы, изображенные на рис. 4.6, в, г.

Трехкорпусные вакуум-выпарные установки могут быть различных конструкций. Выпарная установка для непрерывного уваривания томатной массы до 30% сухих веществ работает по движению пара как двухкорпусная, а по движению продукта — как трехкорпусная. Такая схема применена в аналогично устроенных выпарных установках «Тито Манчини» (Италия) производительностью 1,9 кг/с (7 т/ч).

Выпарная установка (рис. 4.7) включает в себя три вакуум-аппарата: I, II и III. Все части вакуум-аппаратов и коммуникации, соприкасающиеся с томатной массой, изготовлены из нержавеющей стали. Вакуум-аппараты I и II имеют

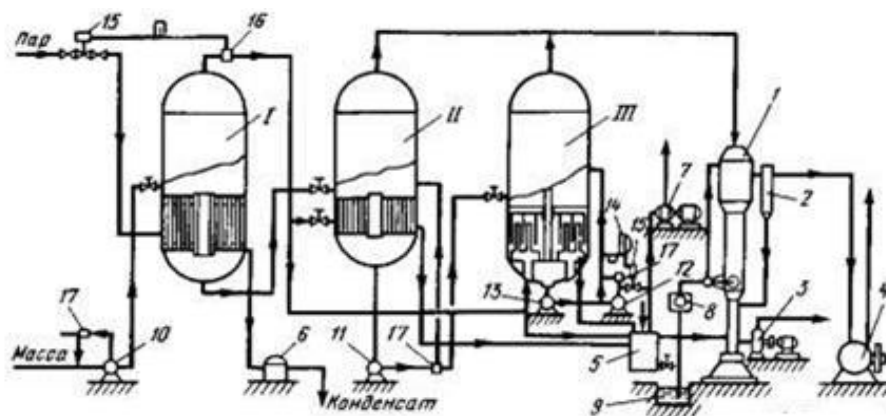


Рисунок 4.7- Трехкорпусная вакуум-выпарная установка

трубчатую нагревательную камеру из вертикальных трубок, укрепленных в двух трубных плитах. В центре находится циркуляционная труба.

Размеры поверхности нагрева корпусов I и II установки приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1- Характеристика поверхности нагрева

Показатели	Корпуса вакуум-аппаратов			
	«Ланг»		«Манцини»	
	I	II	I	II
Площадь поверхности нагрева, м	43,8	22,8	42...44,7	20...23,5
Диаметр греющих трубок, мм	50	50	33	45
Длина трубок, мм	990	500	800/900	500/550
Число трубок	268	268	510	283

Вакуум-аппарат III из нержавеющей стали имеет секционную кольцевую двухстенную нагревательную камеру, состоящую из шести полых цилиндров, расположенных один в другом с зазором между стенками около 50 мм. Высота каждого цилиндра 490...500 мм. Общая площадь поверхности нагрева 14,5...16 м². Основания шести полых цилиндров соединены двумя коллекторами для ввода пара и двумя коллекторами для вывода конденсата, расположенными взаимно перпендикулярно. В этих аппаратах теплообмен между поверхностью нагрева и томатной массой более интенсивен, чем в других аппаратах, благодаря перемешиванию продукта мешалкой, лопасти которой движутся между цилиндрами с частотой 1 рад/с. Лучшему теплообмену способствует также циркуляция при помощи циркуляционного насоса, забирающего продукт через отверстие в днище аппарата и нагнетающего его сверху в нагревательную камеру через трубку. Для контроля регулирования режима работы установки на всех аппаратах смонтированы вакуумметры, циферблатные термометры и мановакуумметры, предусмотрены смотровые и осветительные стекла, люки и воздушные краны. Выпарная установка завода «Ланг» оснащена устройством для автоматического управления и регулирования, основанным на пневматическом регулировании типа АУС.

При работе установки (см. рис. 4.6) томатная масса с содержанием 5% сухих веществ непрерывно загружается насосом 10 в вакуум-аппарат I. Здесь продукт уваривается до содержания 8... 10% сухих веществ, затем за счет разности давлений он переходит в вакуум-аппарат II где концентрируется до 15...16% сухих веществ. Из вакуум-аппарата II томатное пюре перекачивается насосом 11 в вакуум-аппарат III, где уваривается до 30% сухих веществ. Далее томатная масса автоматически выгружается из вакуум-аппарата II насосом 12 в сборник-подогреватель.

Содержание сухих веществ в томатной массе в вакуум-аппарате III определяют при помощи автоматического показывающего и регулирующего электронного рефрактометра, установленного на трубе для циркуляции массы. Когда содержание сухих веществ в томатной массе, перемещаемой по циркуляционной трубе насосом 13, достигает 30%, электронный рефрактометр 14 дает импульс, действующий на электромоторный клапан 15, открывающий выходное отверстие; при этом масса насосом 12 выгружается из вакуум-аппарата. Каждый продуктовый насос имеет обводную трубу и предохранительный клапан 17.

Принцип действия электронного автоматического рефрактометра основан на различном преломлении лучей света, отраженных от поверхности линзы, омываемой томатной массой, в зависимости от ее концентрации.

Греющий пар давлением 0,12...0,15 МПа подводится в нагревательную камеру вакуум-аппарата I и конденсируется в ней. Конденсат удаляется конденсатоотводчиком 6. Подача греющего пара в вакуум-аппарат I автоматически регулируется в зависимости от температуры вторичного пара при помощи термостатического регулятора 16, действующего на электромоторный клапан, смонтированный на пароподводящей трубе. Когда температура вторичного пара превышает 86°C, клапан закрывается и подача пара в нагревательную камеру прекращается. При снижении температуры вторичного пара клапан открывается и поступление пара возрастает.

Автоматическое регулирование температуры кипения (по температуре вторичного пара) в вакуум-аппарате I, осуществляемое в выпарных установках «Ланг», «Манцини» и «Единство», при образовании нагара сводится к повышению давления пара в греющей камере, что, в свою очередь, приводит к дальнейшему увеличению образования нагара. Для предотвращения этого

явления рекомендуется температуру или давление пара в нагревательной камере регулировать автоматически.

Вторичные пары давлением около 50...60 кПа и температурой 85...86°C из вакуум-аппарата I направляются одновременно в нагревательные камеры вакуум-аппаратов II и III, где они конденсируются. Конденсат отводится в конденсатосборник 5, откуда он переходит в конденсатор 1 и вместе с охлаждающей водой удаляется центробежным насосом 3. Вторичные пары из вакуум-аппаратов II и III под действием давления 8...12 кПа направляются в полубарометрический конденсатор; здесь они конденсируются охлаждающей водой.

Охлаждающая вода температурой 15...18°C из бака 9 за счет разности давлений движется в конденсатор, при этом она проходит через фильтр 8 и очищается от грубых примесей. Воздух, скапливающийся в конденсаторе, откачивается через каплеуловитель 2 воздушным вакуум-насосом 4, а из сборника конденсата — водокольцевым вакуум-насосом 7.

Режим работы, устанавливаемый и поддерживаемый в выпарных аппаратах, приведен в табл. 4.2, основные показатели — в табл. 4.3.

Разница в показателях аналогичных по конструкции выпарных установок объясняется в основном неодинаковым качеством сырья.

Двухкорпусная выпарная установка «Единство» (Югославия) предназначена для концентрирования томатной массы. Контроль и регулирование режима работы в установке автоматизированы. Вакуум-аппараты выполнены из нержавеющей стали с трубчатой выносной нагревательной камерой. Корпус I выпарной установки (рис. 4.8) состоит из концентратора 1, испарителя 2 и циркуляционной трубы 3.

Таблица 4.2 - Параметры работы трехкорпусной выпарной установки

Параметры	Вакуум-аппараты		
	I	II	III
Вакуум, Па	46662,7	89325,7	89325,7
Температура кипения, °C	85...86	45...48	46...50

Таблица 4.3 - Характеристика выпарных установок

Показатели	Выпарные установки	
	«Манцини»	«Ланг»
Производительность по сырью, кг/с	1,95	2,15
Общая площадь поверхности и нагрева, м ²	77,5	82,6
Испарительная стихийность поверхности нагрева вакуум-аппаратов, кг (м ² ·с):		
I	0,0150	0,0144
II	0,030	0,0155
III	0,022	0,0131
Средняя испарительная способность по установке, кг/(м ² ·с)	0,20	0,0143
Коэффициент теплопередачи вакуум-аппарат о». Вт/(м ² ·К)		
I	1890	1520
II	1680	1310
III	1390	1140
Расход пара, ю на 1 кг испаренной влаги	0,50	0,66

Испаритель корпуса I образован из 177 трубок диаметром 30/32 мм и длиной 3000 мм, площадь поверхности нагрева 53,5 м². Размеры корпуса II

установки такие же, как и корпуса I, отличие в том, что испаритель имеет 167 трубок диаметром 38/41 мм, длиной 3000 мм, площадь поверхности нагрева его 65,2 м². Для принудительного движения продукта на аппарате II установлен насос между циркуляционной трубой и испарителем.

Во время работы выпарной установки пар из котельной давлением 0,15...0,2 МПа после редуцирования подается в испаритель аппарата I. Вторичные пары, образовавшиеся в аппарате I, давлением 36...63 кПа и температурой 70...90 °С направляются в межтрубное пространство испарителя корпуса II и там конденсируются. В испарителе корпуса II поддерживаются вакуум 93 325,4 Па и температура кипения продукта 40...45°С. Вторичные пары, образовавшиеся в корпусе II при кипении продукта, направляются в полу барометрический конденсатор. Содержание сухих веществ в томатной массе в корпусе I возрастает с 6 до 10...14%. Затем масса переходит, в корпус II и концентрируется в нем до 28...30% сухих веществ при непрерывной работе циркуляционного насоса, проталкивающего ее через трубку испарителя с большой скоростью. Из корпуса II томат-паста с содержанием 30% сухих веществ непрерывно выгружается насосом в сборник наполнителя.

Испарительная способность поверхности нагрева корпуса I 42 кг, корпуса II 38 кг выпаренной воды с 1 м за 1 ч. Коэффициент теплопередачи в корпусе I 1550 Вт/(м К), в корпусе II 350 Вт/(м²-К).

Выпарные установки марки PR, выпускаемые в Венгрии (табл. 4.4), применяют для тепловой обработки томатов механизированной уборки, процесс выпаривания сока из которых затруднен вследствие повышенного содержания клетчатки. Для решения этой проблемы необходимо обеспечить кратковременное пребывание сока в аппарате, интенсивное рециркулирование массы при относительно низкой температуре уваривания.

Таблица 4.4- Техническая характеристика выпарных установок марки PR

Показатели	PR-8	PR-16	PR-24	PR-32	PR-48
Производительность, кг/ч					
по пульпе	3420	6840	10260	13680	20520
по готовой продукции	570	1140	1710	2280	3420
Концентрация, %					
начальная	5	5	5	5	5
конечная	30	30	30	30	30
Количество испаренной воды, кг/ч	2850	5700	8550	11400	17100
Расход:					
воды, кг/ч	1800	3470	5100	672	9975
охлаждающей воды при 20°С, м ³ /ч	41	84	123	164	246
электроэнергии, кВт	16	21	29	33	55

Модернизированная выпарная установка PR (рис. 4.10) состоит из охладителя, конденсатора 2, испарителя 3, автомата 4 для отвода конденсата, насоса 5 для перекачивания томатной массы, центробежного насоса 6 и пароструйного эжекторного насоса 1.

Установка противоточного действия. Первая ступень выпарной установки со стороны ввода острого пара является ступенью окончательного упаривания, а жидкая томатная пульпа подается во вторую ступень со стороны ввода сокового пара.

Ступени концентрирования расположены одна над другой таким образом, чтобы соковые пары первой ступени, расположенные снизу, без трубопроводов через обогреваемые отверстия попадали в зону, расположенную сверху.

4.5 Расчет выпарных установок

Расчет расхода пара выполняется следующим образом.

Количество воды, испаряемой в каждом корпусе прямоточной установки, зависит от количества вторичных паров, поступающих на поверхность нагрева последующего корпуса, а также от режима работы установки.

Количество выпаренной в корпусах воды и расход острого пара в корпусе I находят по методу проф. И. А. Тищенко с учетом испарения и самоиспарения воды и поправки Г. Н. Костенко, учитывающей тепловые потери.

Из теплового баланса для корпуса I находим количество образовавшихся вторичных паров, или выпаренной воды, в корпусе I (кг)

$$W_1 = (D_1 \alpha_1 + G_1 c \beta_1) \Delta_{II} \quad (4.25)$$

где D_1 - расход острого пара в корпусе I, кг; α_1 — коэффициент испарения — количество испаренной воды в корпусе I, кг воды на 1 кг пара; G_1 — количество продукта, поступающего на выпаривание, кг; c — теплоемкость продукта, Дж/(кг·К); β_1 — коэффициент самоиспарения — количество воды, испарившейся путем самоиспарения при охлаждении 1 кг перегретого продукта, кг; Δ_{II} — коэффициент, учитывающий потери теплоты ($\Delta_{II} = 0,96$).

Коэффициент испарения

$$\alpha_1 = (i - i_{k-1})(i_1 - c_v t_1)$$

где i и i_1 — удельная энтальпия острого и вторичного пара в корпусе I, кДж/кг; i_{k-1} — удельная энтальпия конденсата в корпусе 7, кДж/кг; c_v — удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К); t_1 — температура кипения продукта в корпусе I, °С.

Коэффициент самоиспарения

$$\beta_1 = \frac{c_v(t - t_1)}{i_1 - c_d t_1}$$

где t — температура загружаемого продукта, °С.

Из теплового баланса для корпуса II находим количество образовавшихся вторичных паров, или выпаренной воды, в корпусе II (кг)

$$W_2 = [W_1 \alpha_2 + (Gc - W_1) \beta_2] \Delta_{II}, \quad (13.26)$$

где. α_2 — коэффициент испарения в корпусе II, кг/кг;

$$\alpha_2 = (i_1 - i_{k-2}) / (i_2 - c_B t_3),$$

i_1 и i_{k-2} — удельная энтальпия вторичного пара и конденсата в корпусе II, кДж/кг; t_3 — температура кипения продукта в корпусе III, °C; β_2 — коэффициент самоиспарения в корпусе II, кг/кг;

$$\beta_2 = \frac{c_B(t_1 - t_2)}{i_2 - c_d t_2}$$

Количество образовавшихся вторичных паров, или выпаренной воды, в корпусе III (кг)

$$W_3 = [W_2 \alpha_3 + (Gc - W_1 - W_2) \beta_3] \Delta_{II}, \quad (4.27)$$

где α_3 — коэффициент испарения в корпусе III;

$$\alpha_3 = (i_2 - i_{k-3}) / (i_3 - c_B t_3);$$

i_2 и i_{k-3} — удельная энтальпия вторичного пара и конденсата в корпусе III, кДж/кг; t_3 — температура кипения продукта в корпусе III, °C; β_2 — коэффициент самоиспарения в корпусе III

$$\beta_3 = \frac{c_B(t_2 - t_3)}{i_3 - c_B t_2}$$

Общее количество воды, выпаренной установкой (кг),

$$W = W_1 + W_2 + W_3$$

Поставив вместо W_1 , W_2 и W_3 их значения из уравнений теплового баланса и приняв для упрощения расчетов коэффициенты испарения а равными единице (обычно они равны 0,98...0,99) и произведение коэффициентов самоиспарения ($\beta_1 \beta_2 \beta_3$) равным нулю, а коэффициенты, учитывающие потери теплоты, $\Delta_{II} = 0,98$, найдем, что расход пара в корпусе I двухкорпусной установки (кг)

$$D_1 = [W - Gc(2\beta_1 + \beta_2)] / (2 - \beta_2) \Delta_{II} \quad (4.28)$$

Расход пара в корпусе / трехкорпусной установки (кг)

$$D_1 = [W - Gc(3\beta_1 + 2\beta_2)] / [(3 - 2\beta_2 - 2\beta_3) \Delta_{II}] \quad (4.29)$$

Удельный расход пара или количество острого пара, затраченного на испарение 1 кг воды (кг пара на 1 кг воды),

$$D_y = D_1 / W$$

Расчет площади поверхности нагрева выполняют следующим образом.

Площадь поверхности нагрева (m^2):

корпуса 1

$$F_1 = [D_1(i - i_{K-1})]/(K_1\Delta t_1) \quad (4.30)$$

корпуса II

$$F_2 = [W_1(i - i_{K-2})]/(K_2\Delta t_2) \quad (4.31)$$

корпуса III

$$F_3 = [W_2(i - i_{K-3})]/(K_3\Delta t_3) \quad (4.32)$$

где K_1, K_2, K_3 — коэффициенты теплопередачи в корпусах I, II, III, Вт/(м²К); $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$ — полезная разность температур в корпусах I, II, III, °С.

Так как разность температур обычно бывает небольшой, то площадь поверхности нагрева в некоторых аппаратах многокорпусных установок достигает 200 м². Поэтому нагревательные камеры изготавливают в виде трубчатого вертикального теплообменника.

Расчет производительности установки выполняют следующим образом.

При определении производительности двухкорпусной выпарной установки и расхода пара в корпусе I должны быть известны следующие показатели: площадь поверхности нагрева корпусов аппарата; параметры пара, греющего корпус I; давление вторичных паров в корпусе II; коэффициенты теплопередачи в корпусах I—II аппарата; содержание сухих веществ в продуктах.

1. Принимаем, что температура продукта, загружаемого в корпус I, равна температуре кипения в нем, и учитываем потери теплоты в окружающую среду при помощи коэффициента потерь Δ_{Π} . При этих условиях уравнение теплообмена при выпаривании имеет следующий вид:

для корпуса I

$$F_1 K_1 \Delta t_1 \Delta_{\Pi} = W_1 r_1 \quad (4.33)$$

для корпуса II

$$F_2 K_2 \Delta t_2 \Delta_{\Pi} = W_2 r_2 - (G_1 - W_1) c (t_1 - t_2) \quad (4.34)$$

где F_1 и F_2 — площади поверхности нагрева в корпусах I и II, м²; K_1 и K_2 — коэффициенты теплопередачи в корпусах I и II, Вт/(м²К); Δt_1 и Δt_2 — разности температур в корпусах I и II, °С; W_1 и W_2 — количество выпаренной воды в корпусах I и II, кг; r_1 и r_2 — теплота испарения в корпусах I и II, кДж/кг; G_1 — масса продукта, загружаемого в корпус I, кг; c — теплоемкость продукта, кДж/(кг·К); t_1 и t_2 — температура кипения продукта в корпусах I и II, °С.

2. Вторичные пары корпуса I полностью конденсируются в нагревательной камере корпуса II, и вся отданная ими при конденсации теплота передается через поверхность нагрева второго аппарата; в связи с этим можно записать, что

$$F_2 K_2 \Delta t_2 \Delta_{\Pi} = W_1 r_1 \quad (4.35)$$

Заменим в этом уравнении Δt_2 его значением

$$\Delta t_2 = \Delta t - \Delta t_1$$

где Δt — полезная разность температур, °С.

Таким образом, можно записать

$$F_2 K_2 (\Delta t - \Delta t_1) \Delta_{\Pi} = W_1 r_1 \quad (4.35)$$

3. Из уравнения теплообмена для корпуса I и полученного уравнения для корпуса II можем записать

$$F_1 K_1 \Delta t_1 \Delta_{\Pi} = F_2 K_2 (\Delta t - \Delta t_1) \Delta_{\Pi} = F_2 K_2 \Delta t \Delta_{\Pi} - F_2 K_2 \Delta t_1 \Delta_{\Pi}$$

откуда разность температур в корпусе I (°С)

$$\Delta t_1 = (F_2 K_2 \Delta t) / (F_1 K_1 + F_2 K_2) \quad (4.36)$$

4. Разность температур в корпусе II (°С)

$$\Delta t_2 = \Delta t - \Delta t_1$$

5. Количество воды, выпаренной в корпусе I (кг/с),

$$W_1 = (F_1 K_1 \Delta t_1 \Delta_{\Pi}) / r_2 \quad (4.37)$$

6. Массу загружаемого продукта G_j (кг/ч) находим из уравнения теплообмена для корпуса II

Заменим W_2 в уравнении (4.34) его значением:

$$W_2 = G_1 (1 - n/m) - W_1$$

где n/m — содержание сухих веществ в продукте, загружаемом в корпус I и выгружаемом из корпуса II, %.

Тогда уравнение (4.34) можно переписать в таком виде:

$$F_2 K_2 \Delta t_2 \Delta_{\Pi} = [G_1 (1 - n/m) - W_1] - (G_1 - W_1) c (t_1 - t_2)$$

7. Общая масса выпаренной воды (кг/с)

$$W = G_1 (1 - n/m)$$

8. Масса воды, выпаренной в корпусе II (кг/с),

$$W_2 = W - W_1$$

9. Расход греющего пара в корпусе I (кг/с)

$$D_1 = (F_1 K_1 \Delta t_1) / (i - i_{K-1}) \quad (4.38)$$

где $i - i_{K-1}$ - удельная энтальпия греющего пара и конденсата, кДж/кг.

10. Расход греющего пара на выпаривание 1 кг воды в установке (кг)

$$D_{уд} = D_1/W.$$

Контрольные вопросы и задания

1. Какие факторы влияют на интенсивность процесса выпаривания? Как определить температуру кипения раствора при выпаривании? 2. Дайте классификацию выпарных аппаратов. 3. Составьте уравнение материального баланса процесса выпаривания. 4. Каковы устройство и принцип работы открытых выпарных аппаратов? 5. Что представляют собой вакуум-выпарные аппараты, каковы их преимущества перед другими выпарными аппаратами? 6. Как рассчитать однокорпусный выпарной аппарат? 7. Как определить размеры выпарного аппарата? 8. Каковы устройство и принцип работы выпарного аппарата с тепловым насосом? Какова методика его расчета? 9. Каковы устройство и принцип работы низкотемпературной выпарной установки, как ее рассчитать? 10. Каковы назначение, устройство и принцип работы многокорпусных выпарных установок? 11. Рассмотрите трехкорпусные выпарные установки фирм «Ланг» и «Тито Манчини» (устройство и принцип работы). 12. Как устроена и работает двухкорпусная выпарная установка «Единство»? 13. Рассмотрите конструкцию четырехкорпусной выпарной установки «Единство» и ее отличительные особенности. 14. Опишите выпарные установки марки PR и их отличительные особенности. 15. Что представляет собой выпарная установка с улавливателем ароматических веществ, каковы ее устройство и принцип работы? 16. Дайте расчет расхода пара, производительности и поверхности нагрева многокорпусной установки.

ГЛАВА 5

5.1 Стерилизаторы и пастеризаторы

При прекращении жизнедеятельности микроорганизмов в продукте создаются условия для длительного хранения его без порчи. Для обеспечения таких условий продукт подвергают воздействию теплоты, тока высокой частоты или лучистой энергии.

В консервном производстве для этой цели применяют преимущественно тепловую стерилизацию и пастеризацию. Стерилизацию продуктов проводят при температуре от 100°C и выше, пастеризацию — при 75...100°C. Консервы повышенной кислотности (фруктовые компоты, сливовый сок и др.) стерилизуют при 100°C в кипящей воде в аппаратах, работающих при атмосферном давлении. Овощные закусочные, рыбные и мясные консервы стерилизуют при 80...120°C в аппаратах, работающих под давлением вышеатмосферного. Стерилизацию под давлением при температуре, превышающей 100°C, проводят в водяном паре без противодействия и с воздушным противодействием или в воде с воздушным либо водяным противодействием.

На продолжительность прогревания (стерилизации) консервов до заданной температуры влияют следующие факторы: консистенция продукта, его физические свойства (теплоемкость, вязкость, теплопроводность), вид материала тары и размер ее, особенно отношение высоты банки к диаметру, начальная температура продукта, температура пара (или воды) в автоклаве, частота вращения банки вокруг своей оси.

Режим стерилизации устанавливают в зависимости от времени прогревания консервов до температуры стерилизации и от продолжительности выдерживания консервов при этой температуре (так называемое летальное для микроорганизмов время). Продолжительность охлаждения обычно обуславливается сохранением целостности и герметичности тары.

5.2 Расчет давления в банке при стерилизации

В результате повышения температуры продукта и банки при стерилизации консервов в ней увеличивается давление. Разность между давлениями по обе стороны стенки банки может достичь такого значения, при котором происходят деформация или нарушение герметичности жестяных банок или срыв крышек со стеклянных банок.

Чтобы во время стерилизации и особенно охлаждения давление в банке не превышало допустимого значения, создают искусственное противодействие с наружной стороны банки (в аппарате) при помощи сжатого воздуха или воды. Противодействие может быть определено лишь в том случае, если известно давление в банке при стерилизации. Это давление зависит от следующих факторов: температуры продукта при закатывании и стерилизации; давления в пространстве, не заполненном продуктом при закатывании банки; степени

наполнения банки продуктом; теплового расширения продукта и банки; изменения объема банки вследствие выгиба концов; выделения газов из продукта; набухания коллоидных частиц.

Давление в банке в момент герметизации (Па)

$$p_1 = p_{\Pi}^{\cdot} + p_{\text{В}}^{\cdot} \quad (5.1)$$

где p_{Π}^{\cdot} — упругость насыщенного водяного пара в пространстве, не заполненном продуктом, Па; $p_{\text{В}}^{\cdot}$ — упругость воздуха в указанном пространстве, Па.

Если банки укупоривают при атмосферном давлении, то

$$p_1 = B \quad (5.2)$$

если под вакуумом, то

$$p_1 = B - W\varphi \quad (5.3)$$

где B — барометрическое давление, Па; W — разрежение в вакуум-камере, Па; φ — коэффициент вакуумного поглощения, учитывающий снижение вакуума в банке после герметизации за счет воздуха, выделяемого из продукта (для абрикосов $\varphi=0,58$, для томатов $\varphi=0,80$).

Давление насыщенных водяных паров p_{Π}^{\cdot} определяется температурой продукта, заполняющего банку; это давление берут из таблиц водяного пара.

При повышении температуры давление в банке увеличивается и при стерилизации достигает в отдельных случаях 0,3.. 0,4 МПа. Давление в банке во время стерилизации (Па)

$$p_2 = p_{\Pi}^{\cdot\cdot} + p_{\text{В}}^{\cdot\cdot},$$

где: $p_{\Pi}^{\cdot\cdot}$ — упругость паров в банке при температуре стерилизации, Па; $p_{\text{В}}^{\cdot\cdot}$ — упругость воздуха при температуре стерилизации, Па.

Запишем характеристические уравнения для двух состояний воздуха:

до стерилизации: $p_{\text{В}}^{\cdot} V_1 = RT_1;$

после стерилизации: $p_{\text{В}}^{\cdot\cdot} V_2 = RT_2;$

где V_1 и V_2 — объемы незаполненного пространства в банке в момент герметизации и стерилизации, м³; R — газовая постоянная; T_1 и T_2 - абсолютные температуры в банке при герметизации и стерилизации, °К.

Разделив второе уравнение на первое

$$p_{\text{В}}^{\cdot\cdot} V_2 / (p_{\text{В}}^{\cdot} V_1) = T_2 / T_1, \quad (5.4)$$

найдем давление воздуха в банке во время стерилизации (Па)

$$p_B'' = \frac{p_B' V_1 T_2}{V_2 T_1}, \quad (5.5)$$

Из формул (5.5) и (5.4)

$$p_2 = p_{\Pi}'' + p_B' \frac{V_1 T_2}{V_2 T_1}, \quad (5.6)$$

Из формулы (5.1)

Подставив в уравнение (5.6) полученное значение p_B' найдем, что

$$p_2 = p_{\Pi}'' + (p_1 - p_{\Pi}') \frac{V_1 T_2}{V_2 T_1}, \quad (5.7)$$

Можно доказать, что отношение

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1-\psi}{x-y\psi}, \quad (5.8)$$

где ψ — степень заполнения банки - отношение объема продукта к объему банки (обычно $\psi = 0,85 \dots 0,95$); x — степень изменения объема банки (для стеклянных банок $x=1$, для жестяных банок $x>1$ и зависит от размера банок, перепада давления и толщины жести); y — степень расширения продукта — отношение объема продукта в банке при укупорке к объему продукта при стерилизации (y зависит от начальной температуры продукта и температуры стерилизации и изменяется при обычных условиях работы на консервных заводах от 1,02 до 1,05).

При перепаде давления $\Delta p = 0,1$ МПа и толщине жести $\delta = 0,26$ мм объем банки изменится следующим образом:

Номер банки	9	13	14
Диаметр, мм	72,8	98,9	153,1
Объем, см ³	375	860,6	3033
Значение x	1,042	1,048	1,083

Подставляя значение отношения V_1/V_2 из уравнения (5.8) в уравнение (5.7), получим, что давление в банке при стерилизации (Па)

$$p_2 = p_{\Pi}'' + (p_1 - p_{\Pi}') \left(\frac{1-\psi}{x-y\psi} \frac{T_2}{T_1} \right), \quad (5.9)$$

В формуле (5.7) не учтены возможные физико-химические изменения продукта — набухание, автолиз, разложение, испарение кислот и т. п., которые в некоторых случаях могут резко изменить давление в банке во время стерилизации.

Из анализа уравнения (5.7) можно сделать следующие выводы.

1. Разность между давлениями в банке и аппарате, которая может вызвать деформацию жестяных банок или срыв крышек со стеклянных банок, создается главным образом в результате давления воздуха в банке, так как давление пара в ней почти равно давлению пара в аппарате.

2. При всех прочих равных условиях давление воздуха в банке при стерилизации снижается, если:

- а) уменьшается p_1 например при герметизации банок под вакуумом;
- б) увеличивается p_{II} , зависящее от температуры продукта в момент укупорки; при этом чем выше температура продукта, тем выше давление водяных паров;
- в) уменьшается отношение T_1/T_2 , для чего необходимо повысить температуру продукта в банке в момент укупорки, а следовательно, повысить температуру находящегося там воздуха;
- г) уменьшается отношение V_1/V_2 .

Степень расширения стеклянной банки x всегда меньше степени расширения продукта y , и для уменьшения отношения V_1/V_2 нужно уменьшить степень заполнения банок ψ .

В жестяных банках в зависимости от начальной температуры продукта и температуры стерилизации степень расширения продукта меньше или больше степени расширения x . В первом случае для уменьшения отношения V_1/V_2 нужно увеличить степень заполнения банки ψ , во втором — уменьшить.

Следует иметь в виду, что объем стеклянных банок и степень заполнения их колеблется в пределах до 5% номинального объема банки, что также отражается на давлении в банке во время стерилизации. Поэтому величина противодействия (Па) должна быть такой, чтобы при стерилизации давление в аппарате p_a было равно или превышало давление в банке p_2 , уменьшенное на допустимую разность давлений Δp_D .

$$p_a \geq p_2 \Delta p_D,$$

Для жестяных банок допустимая разность давлений не должна превышать следующих значений:

Диаметр банки, мм	72,8	83,4	99,0	153,1
Δp_D , МПа	0,14	0,11	0,09	0,04

Для стеклянных банок допустимая разность давлений $\Delta p_D = 0$, т. е. давления в банке и в аппарате должны быть равны.

Давление в аппарате p_a необходимо поддерживать сжатым воздухом или водой, которые подают в аппарат не только при стерилизации, но и при охлаждении консервов до тех пор, пока давление в стеклянной банке не снизится до 0,1 МПа, а в жестяной — до $0,1 + \Delta p_D$ Па. Только после этого можно уменьшить давление в аппарате до атмосферного.

Таким образом, общее давление p_a в автоклаве, работающем с противодействием, будет равно давлению пара, соответствующему температуре стерилизации, плюс противодействие, создаваемое водой или воздухом.

Большую опасность представляет уменьшение объема незаполненного пространства в банке вследствие деформации крышки (прогиба внутрь банки)

под действием большого противодействия извне. При уменьшении свободного пространства в банке значительно увеличивается внутреннее давление, при котором в конце стерилизации и при переходе к охлаждению может быть сорвана крышка.

В банках, закупоренных крышками, снабженными односторонними клапанами, не требуется создавать при стерилизации противодействие. Объясняется это тем, что во время стерилизации давление в банке всегда равно давлению в автоклаве вследствие выхода из банки смеси пара и воздуха. При последующем охлаждении в таких банках образуется значительный вакуум.

В зависимости от способа стерилизации аппараты классифицируют на периодически- и непрерывнодействующие, работающие при атмосферном давлении и при давлении выше атмосферного.

5.3 Стерилизаторы периодического действия

Для стерилизации консервов при давлении, превышающем атмосферное, паром или в воде применяют автоклавы, работающие периодически. Они бывают двух типов: вертикальные и горизонтальные. Горизонтальные автоклавы предназначены для стерилизации консервов в жестяной таре, вертикальные — всех видов консервов как в жестяной, так и в стеклянной таре, поэтому они получили широкое распространение на консервных заводах.

Если при стерилизации консервов создают противодействие, то в зависимости от ее способа коммуникации автоклава должны обеспечить подачу сжатого воздуха или воды под давлением.

В случае снижения давления в автоклаве могут произойти срыв крышек или деформация банок, поэтому на всех трубопроводах, по которым поступают пар, вода или воздух, устанавливают обратные клапаны между автоклавом и вентилем. На коммуникации автоклава монтируют только паровые вентили.

Охлаждение консервов в автоклавах, особенно в стеклянной таре, — один из самых ответственных процессов. Исследования показали, что термостойкость стекла при охлаждении значительно ниже, чем при нагреве. Объясняется это тем, что при нагреве наружные слои стенки стеклянной банки испытывают сжимающие усилия, в то время как при охлаждении в них возникают растягивающие усилия.

Напряжение, при котором стекло разрушается, составляет на сжатие 650...1750 Па, на растяжение 35...80 Па. Таким образом, при растяжении сопротивляемость в 16...17 раз ниже, чем при сжатии.

Как показывает опыт, наиболее опасным является этап охлаждения банок от температуры стерилизации до 70 °С. В этом интервале температур в материале банок возникают особенно высокие напряжения, приводящие иногда к их разрушению. Для предотвращения боя банок при охлаждении температуру в автоклаве следует снижать постепенно и равномерно.

Для постепенного и равномерного охлаждения банок охлаждающую воду подают мелкими струями через барботер или через душ, укрепленный под

крышкой автоклава. Механизация загрузки сеток банками и выгрузки их из сеток значительно облегчает обслуживание автоклава, повышает производительность труда и уменьшает бой банок.

Наиболее простой способ загрузки жестяных банок в сетки — это загрузка с применением водяной подушки. При этом способе пустую сетку с помощью электротали погружают в сосуд, наполненный водой, уровень которой несколько выше кромки сетки. Для разгрузки сеток после стерилизации может быть использован такой же сосуд, но заполненный раствором, плотность которого больше плотности банок.

Односетчатые автоклавы высотой до 1,2 м устанавливают на полу автоклавного отделения, многосетчатые — обычно в канале (шахте) или укрепляют на балках железобетонного перекрытия. При монтаже автоклава ниже уровня пола все трубопроводы удобно размещать в одном канале с автоклавами. Однако в этом случае автоклав должен быть расположен так, чтобы был свободный доступ для осмотра и ремонта вентилях, соединений труб и обеспечена возможность управления большим числом вентилях у рабочего места. Если заводская канализация выше днища автоклава, погруженного в шахту, то воду из него выкачивают насосом, находящимся в шахте.

При стерилизации консервов с противодействием в автоклавном отделении должна быть насосная станция, состоящая из многоступенчатого центробежного насоса, запасного парового насоса, соответствующих емкостей для воды, компрессора с ресивером. Насосная станция должна быть оборудована всеми необходимыми контрольно-измерительными приборами (манометрами, регуляторами давления, предохранительными клапанами и т. д.). Трубопроводы крепят к автоклаву с помощью фланцев.

Вместо насосной станции можно установить напорную вышку для воды на уровне 20...30 м от пола автоклавного отделения.

Трубы располагают так, чтобы можно было разместить вентилях со стороны обслуживания на расстоянии 500.. 700 мм от уровня пола цеха. Вентили, расположенные в канале, снабжают удлиненными стержнями. Расстояние между вентилях должно

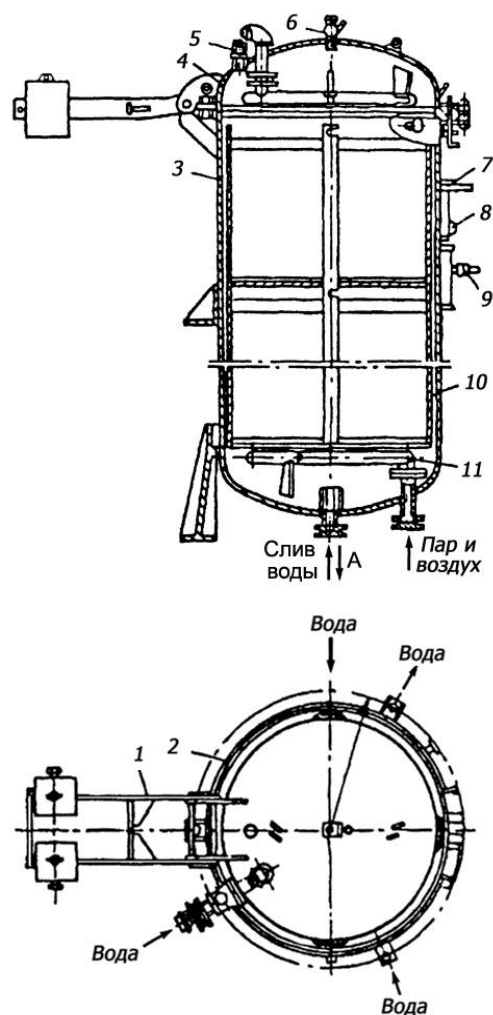


Рис. 5.1. Вертикальный автоклав

быть таким, чтобы ими можно было управлять с одного места.

Манометр и термометры монтируют на уровне глаз сидящего человека со стороны обслуживания, обратные клапаны — за вентилями, что позволяет заменять сальниковую набивку и осматривать вентили без отключения всей сети. Предохранительный клапан снабжают небольшим кожухом для отвода пара вверх либо в сторону, противоположную фронту обслуживания.

Вертикальный автоклав представляет собой аппарат периодического действия, предназначенный для стерилизации консервов, укупоренных в таре (табл. 5.1).

Таблица 5.1- Техническая характеристика вертикальных автоклавов

Показатели	Б6-КАВ-2	Б6-КАВ-4
Объем автоклава, л	1570	2750
Внутренний диаметр, мм	1000	1000
Рабочее давление, МПа	0,35	0,35
Число корзин	2	4
Вместимость корзины, л	485	485
Габаритные размеры, мм:		
ширина	1350	1350
длина		
с закрытой крышкой	2200	2200
с открытой крышкой	1870	1870
высота.		
с закрытой крышкой	2750	4200
с открытой крышкой	3350	5000
Масса, кг	2370	3534

Автоклав (рис. 5.1) имеет корпус 3, крышку 4, корзины 10, программный регулятор 9 (ПРП-2) и различную арматуру.

Корпус 3 автоклава сварной и состоит из цилиндрических обечаек толщиной 6 мм и днища толщиной 8 мм. На корпусе предусмотрены патрубки с фланцами для подключения пара, сжатого воздуха, воды и конденсата, а также штуцера для манометра 8, термометра 7 и датчиков регулятора ПРП-2. В нижней части корпуса расположены паровой барботер 11 и сливной патрубок.

Фланцы крышки и корпуса прижаты один к другому с помощью поясного зажима 2, состоящего из пятнадцати секторных захватов, укрепленных на кольце из пружинной полосовой стали, и рычажной системы для стягивания и разведения зажима.

На крышке предусмотрены патрубок для подвода воды и штуцера для установки предохранительного клапана 5 и пробно-спускного крана 6. Крышка имеет устройство 1, облегчающее ее открывание и закрывание.

Горизонтальные автоклавы устанавливаются на лапах. Торцевые стороны корпуса с одной или двух сторон герметически закрыты крышками на петлях;

крышки снабжены зажимными штурвалами. Внутри автоклава имеется барботер для подачи пара и рельсы, по которым перемещаются тележка с банками. Горизонтальные автоклавы строят в расчете на одну, две, четыре или шесть тележек; различаются автоклавы между собой только по длине корпуса. Эти автоклавы снабжены такими же контрольно-измерительными приборами и коммуникациями, как и вертикальные автоклавы (табл. 5.2).

Для горизонтальных автоклавов (в отличие от вертикальных) нет необходимости устраивать каналы (шахты) при их установке, а также монорельсы с электроталью или краны для загрузки банок. Благодаря наличию двух крышек автоклавов можно загружать с одной стороны и разгружать с другой, чем обеспечивается некоторая поточность движения банок, в особенности если загрузку производят в стерилизационном цехе, а разгрузку - у склада готовой продукции. Однако горизонтальные автоклавы занимают большую площадь и в них трудно проводить стерилизацию консервов в воде. Кроме того, степень использования их объема ниже.

Таблица 5.2 - Техническая характеристика горизонтальных автоклавов

Показатели	А9-КСС	А9-КСТ
Полезная вместимость, туб	1,9	3,8
Потребление электроэнергии за цикл, кВт·ч	3,03	5,12
Расход за цикл:		
Пара, кг	168	305
Воды, м ³	2,4	4,4
сжатого воздуха, м ³	19	31,8
Габаритные размеры, мм:	2850x2475x2460	5000x2200x2300
Масса (без принадлежностей), кг	1835	3680

Исследования показали, что при меньшем времени стерилизации качество консервов более высокое. Продолжительность стерилизации зависит от интенсивности теплообмена, значительно увеличивающейся при перемешивании содержимого банки, когда передача теплоты происходит главным образом путем конвекции, а не теплопроводности. Кроме того, благодаря перемешиванию несколько увеличивается температура стерилизации и, следовательно, сокращается время прогрева. Перемешивание достигается вращением банки как вокруг своей оси, так и переворачиванием с доньшка на крышку. Первый способ осуществляется в роторных непрерывно-действующих стерилизаторах, второй — в горизонтальных автоклавах периодического действия. В такой автоклав по рельсам вкатывается сетка с горизонтально и вертикально уложенными банками. Герметично закрывается крышка, и сетка с банками приводится во вращательное движение при помощи электродвигателя и специального механизма. Для улучшения теплообмена во время нагревания и стерилизации вода в автоклаве непрерывно циркулирует, для чего используют специальные циркуляционные насосы.

На Азовском комплексе по производству консервов детского питания установлены горизонтальные автоклавы французской фирмы «Лагард». Каждый аппарат вмещает четыре кубические корзины со стороной 804 мм и съемным дном. Корзины укомплектованы перфорированными листами, которые служат прокладками между рядами банок.

Автоклав снабжен двумя крышками. В центре крышки со стороны выгрузки установлен центробежный вентилятор. По днищу автоклава проложены два опорных рельса с роликами для загрузки и выгрузки корзин.

Внутри аппарата по всей длине между двумя вертикальными пластинами и корпусом автоклава размещены коллекторы для подачи воды, в нижней части корпуса — коллекторы для подвода пара, верхней — форсунки для разбрызгивания воды.

Управление автоклавом осуществляют в автоматическом режиме со щита, на котором расположены: программатор, прибор для регистрации температуры и давления, манометр с сигнализацией предельных значений, электрические приборы.

Автоклав предназначен для стерилизации консервов в паровоздушной среде при температуре до 150°C и давлении до 500 кПа, загрузка (выгрузка) консервов полностью механизирована и автоматизирована.

В качестве греющей среды применена паровоздушная смесь, для охлаждения используют воду, необходимое давление поддерживают с помощью сжатого воздуха.

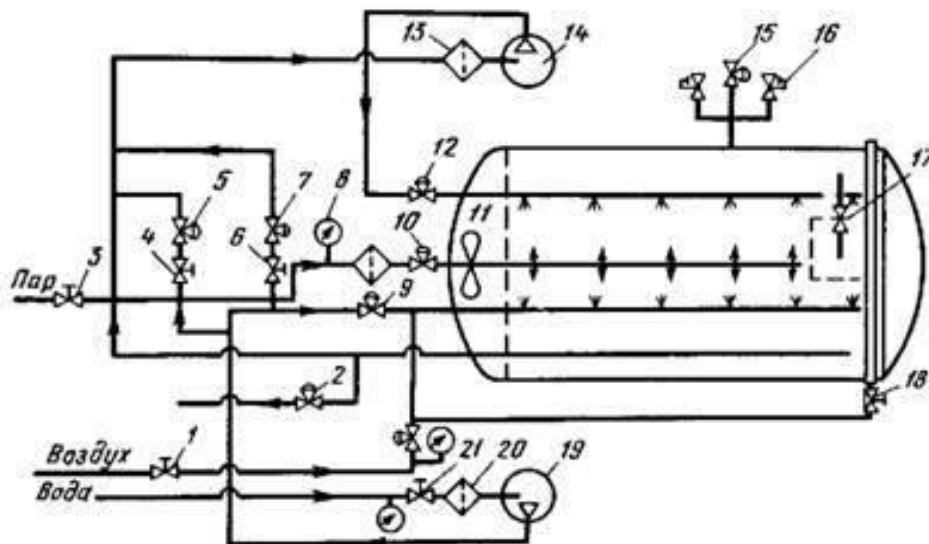


Рисунок 5.2- Схема коммуникаций горизонтального автоклава

Автоклав фирмы «Лагард» (рис. 5.2) имеет следующую арматуру, приборы и оборудование:

1,3, 16, 17, 18 и 21 — ручные вентили соответственно подачи сжатого воздуха из системы, пара, сброса давления из аппарата, подачи воздуха в аппарат и холодной воды из системы;

4,6 — ручные вентили подачи холодной воды для регулирования температуры воды, поступающей для охлаждения консервов;

8 — манометр для измерения давления пара;
2, 5, 7, 9, 10, 12 и 15 — клапаны соответственно для слива воды, подачи холодной воды, сброса давления из аппарата;
11 — вентилятор;
14, 19 — насосы;
13, 20 — фильтры.

Автоклав работает следующим образом. Продувают линии подачи пара к аппарату и открывают вентили: 21 подачи воды, 3 пара, 1 сжатого воздуха и 4 и 6. Давление воды 450 кПа, пара 600, воздуха 600 кПа.

С подачей электропитания на щите управления автоклава загораются соответствующие сигнальные лампы, включаются самописец, программатор и его неоновое освещение. В считывающее устройство программатора снизуводится программная карта. Затем в автоклав автоматически загружаются корзины с консервами; крышка автоклава, которая герметизирована с помощью резиновых прокладок, надуваемых сжатым воздухом, закрывается, и осуществляется пуск программатора. При этом закрывается клапан сброса воды из автоклава, открывается клапан 10 подачи в него пара и включается вентилятор 11. Подъем и поддержание температуры и давления в автоклаве на заданном уровне гарантируются включением и отключением клапанов подачи пара и воздуха и включением и отключением клапана сброса давления 15.

По окончании этапа стерилизации закрывается клапан 10 подачи пара, включается насос 19, открывается клапан 9 и наступает этап предварительного охлаждения, вода разбрызгивается из сети в пространстве между корпусом и ограничительными пластинами. Затем включается насос 14, открывается клапан 12 и начинается этап окончательного охлаждения консервов водой, забираемой из нижней части автоклава. Открывается клапан 5, и горячая вода, забираемая из нижней части автоклава, смешивается с холодной водой, подаваемой насосом 19 из сети. При включении насоса клапан 9 закрывается, разбрызгивание воды прекращается, открывается клапан 7 и увеличивается подача воды, поступающей для охлаждения консервов. После охлаждения насосы 19 и 14 выключаются, закрываются клапаны 12, 7 и 5, открывается клапан 2 слива воды и давление снижается до нуля.

Автоклав горизонтальный марки АГК. Автоклав предназначен для стерилизации пищевой и фармацевтической продукции в различной потребительской таре при температуре до 150°С при избыточном давлении. Для стерилизации продукции применен метод орошения или душирования. Нагрев стерилизующей жидкости осуществляется паром через внешний спиральный теплообменник, охлаждение водой, не требующей водоподготовки, также через внешний теплообменник.



Рисунок 5.3- Автоклав горизонтальный марки АГК

Достоинства:

- повышение качества стерилизации за счет равномерного температурного поля в полости автоклава;
- возможность стерилизации продукции в различных видах тары (металлическая, стеклянная, пластиковая) за счет точной регулировки давления;
- простота монтажа и обслуживания;
- низкая стоимость эксплуатации за счет энергосберегающих технологий;
- для максимально эффективного использования воды и энергоносителей применен спиральный теплообменник, что позволяет снизить безвозвратный расход охлаждающей воды и пара;
- автоклав не требуется водоподготовка, он также не нуждается в подготовке пара и воздуха;
- высокая долговечность (автоклав изготовлен из нержавеющей стали).

Технические характеристики: габаритные размеры, мм - длина с закрытой/открытой крышкой x ширина x высота. 3900/4750x2020x2200, диаметр

(внутренний) корпуса, мм - 1300, масса с комплектом принадлежностей, кг - 2520, вместимость автоклава, корзины (шт) - 2, внутренние размеры корзины, мм - 950x820x780, температура максимальная, °С - 150, неравномерность температурного поля в режиме стерилизации $\pm 0,5$, рабочее давление, мПа - 0,4, регулировка давления с точностью, мПа $\pm 0,0049$, расход за цикл: холодной воды (18с), м - 1,9, пара, кг - 180, сжатого воздуха, м - 3, электроэнергии, кВт-ч - 5.

Автоклав горизонтальный ТМП-200. Автоклав горизонтальный марки



Рисунок 5.4- Автоклав горизонтальный ТМП-200

ТМП-200 электрический периодического действия предназначен для стерилизации плодоовощных, мясных и рыбных консервов в стеклянной и металлической таре. Автоклав состоит из парогенератора (котла), в котором установлено пять трубчатых электронагревателей суммарной мощностью 25 кВт, датчики верхнего и нижнего уровня воды, предохранительный клапан, камеры стерилизации, внутри которой кронштейн с восьмью корзинами для укладки в них банок с консервируемой продукцией, барботеры пара и воды, термосопротивление, предохранительный клапан, шкаф управления, соединительные трубопроводы для подачи воды, воздуха, пара и запорная арматура, самопишущий регистр температуры. Область применения -

предприятия консервной промышленности и пищевой по переработке чая и винограда.

Работа автоклава может осуществляться в горизонтальный ТМП-200 автоматическом (таймерная автоматика) и ручном режимах, а стерилизация консервов производится в паровой, водяной или паровоздушной средах в соответствии с технологическими инструкциями и "формулами" стерилизации.

Принцип работы основан на воздействии высокой температуры среды стерилизации на продукт и выдержка его в течении определенного времени. Контроль за технологическим процессом осуществляется автоматически и визуалью с помощью приборов прямого показания - манометров и термометров. Система автоматизации обеспечивает возможность управления процессом стерилизации в автоматическом и ручном режимах. Ручной режим осуществляется с помощью штурвалов ручных дублеров на исполнительных запорно-регулирующих устройствах.

Технические характеристики: вместимость полезная: б.№8, не менее - 320, вместимость полезная: 3-х литровых стекл. баллонов - 32, габаритные размеры, мм. 1500x1400x1875, максимальная температура стерилизации, °С -140, установленная мощность, кВт, не более - 25,1, рабочее давление в камере, мпа (кгс/см.кв.) - 0,4 (4,0), объем камеры, л., не менее - 450, давление в магистралях, подводимых к автоклаву (вода, воздух), мПа - 0,4, масса, кг. - 1000.



Рисунок 5.5 -Автоклав горизонтальный, малогабаритный

Автоклав горизонтальный малогабаритный.

Автоклав горизонтальный малогабаритный со встроенным электропарогенератором и системой автоматического ведения процесса "собственно стерилизации" предназначен для производства различных видов консервов (мясные, рыбные, плодоовощные, молочные и т.д.) в металлической и стеклянной таре. Загрузка продукции в стерилизационную камеру в автоклавных корзинах.

Технические характеристики: количество автоклавных корзин, шт. - 8, габариты автоклавной корзины, мм - 430 x 310 x 170, температура стерилизации, °C, не менее - 125, установленная мощность, кВт, не более 50, потребляемая мощность при «собственно» стерилизации, кВт/ч 8-10, напряжение, род тока число фаз - 380 В, переменный, 3, габариты автоклава, мм -1540 x 1400 x 1930, масса, кг - 1100

Расчеты автоклавов производят следующим образом. Технологическим расчетом устанавливаются производительность автоклавов, затем определяют необходимое их количество и составляют график работы стерилизационного цеха.

Количество банок, вмещаемых одной сеткой,

$$z = 0,785ad^2/d_6^2, \quad (5.10)$$

где $a = h_c/h_6$ — отношение высоты сетки к высоте банки (принимается всегда ближайшее целое меньшее число); h_c и h_6 — высота сетки и банки, м; d_c — диаметр сетки автоклава, м; d_6 — наружный диаметр банки, м.

Продолжительность наполнения банками одной сетки (с)

$$\tau_c = z/n, \quad (5.11)$$

где n — производительность линии, банок в секунду.

Число сеток, загружаемых в один автоклав,

$$z_c = \tau_d/\tau_c, \quad (5.12)$$

где τ_d — максимальная продолжительность выдержки (накопления) банок до их стерилизации после укупоривания (обычно τ_d не более 1800 с). Принимают целое меньшее число сеток. Число банок, загружаемых в автоклав,

$$n_6 = z_c z, \quad (5.13)$$

Продолжительность полного цикла работы автоклава (с)

$$\tau = \tau_0 + \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4, \quad (5.14)$$

где $\tau_0, \tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ — продолжительности соответственно загрузки автоклава, повышение температуры, собственно стерилизации, снижения давления и температуры в автоклаве и охлаждения банок, разгрузки автоклава, с.

Производительность одного автоклава (банок в секунду)

$$П = n_6 / \tau, \quad (5.15)$$

Число автоклавов, необходимых для стерилизации,

$$n_a = n / П, \quad (5.16)$$

Интервал времени между загрузками очередных автоклавов

$$\tau = n_6 / n, \quad (5.17)$$

По полученным данным строят график работы стерилизационной станции на смену или на сутки.

Тепловым расчетом автоклава определяют расходы пара на стерилизацию и охлаждающей воды. Расход пара за один цикл работы автоклава находят отдельно для первого периода, когда температура в автоклаве повышается до температуры стерилизации, и для второго периода, когда в автоклаве поддерживается постоянная температура стерилизации. В первый период работы тепловая энергия затрачивается на нагрев аппарата, сеток, банок, крышек, продукта и воды (при стерилизации в воде) и на компенсацию потерь теплоты в окружающую среду путем лучеиспускания и конвекции. Расход теплоты за первый период работы автоклава рассчитывают следующим образом.

Расход теплоты на нагрев автоклава (Дж)

$$Q_1 = G_1 c_1 (t_c - t_1), \quad (5.18)$$

где G_1 — масса автоклава, кг; c_1 — удельная теплоемкость стали, Дж/(кгК) [$c_1 = 482$ Дж/(кгК)]; t_c — температура стерилизации, °С; t_1 — начальная температура автоклава, °С.

Расход теплоты на нагрев сеток (Дж)

$$Q_2 = G_2 c_1 (t_c - t_2), \quad (5.19)$$

где G_2 — масса сеток, кг; t_c — температура сетки, °С (t_c приравнивается к температуре воздуха).

Расход теплоты на нагрев банок (Дж)

$$Q_3 = G_3 c_3 (t_c - t_3), \quad (5.20)$$

где G_3 — масса банок, кг; c_3 — удельная теплоемкость материала тары, Дж/(кгК); t_3 — начальная температура банок, °С (t_3 принимаем такой же, как температура продукта).

Расход теплоты на нагрев продукта (Дж)

$$Q_4 = G_4 c_4 (t_c - t_4), \quad (5.21)$$

где G_4 — масса продукта, кг; c_4 — удельная теплоемкость продукта, Дж/(кг·К).

Расход теплоты на нагрев воды в автоклаве (Дж)

$$Q_5 = G_5 c_5 (t_c - t_5), \quad (5.22)$$

где G_5 — масса воды в автоклаве, кг; c_5 — удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К); t_5 — начальная температура воды в автоклаве, °С.

Потери теплоты в окружающую среду (Дж)

$$Q_6 = F_a \tau_2 \alpha_0 (t_{ст} - t_B), \quad (5.23)$$

где F_a — площадь поверхности автоклава, м²; τ_2 — продолжительность подогрева, с; α_0 — суммарный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); $t_{ст}$ и t_B — температуры наружной стенки изоляции и воздуха, °С.

Общий расход теплоты

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (5.24)$$

Расход пара в первый период работы автоклава

$$D_1 = \frac{Q_{общ}}{i - i_K}, \quad (5.25)$$

где i — удельная энтальпия пара до редуктора с учетом степени сухости, Дж/кг; i_K — удельная энтальпия конденсата, Дж/кг.

Интенсивность расхода пара в первый период работы, или расход пара в единицу времени (кг/с),

$$D_4 = \frac{D_1}{\tau_2}, \quad (5.26)$$

Во второй период работы автоклава (при постоянной температуре стерилизации) тепловая энергия расходуется только на компенсацию потерь теплоты в окружающую среду путем конвекции и лучеиспускания (Дж):

$$Q_7 = F_2 \tau_3 \alpha_0 (t_{ст} - t_B), \quad (5.27)$$

где τ_3 — продолжительность собственно стерилизации, с; α_0 — суммарный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); $t_{ст}$ — температура стенки во второй период работы, °С.

Расход пара во второй период работы автоклава (кг)

$$D_2 = \frac{Q_7}{i - i_K}, \quad (5.28)$$

или расход пара в единицу времени (кг/с)

$$D_4'' = \frac{D_2}{\tau_3}, \quad (5.29)$$

Общий расход пара за один цикл работы автоклава (кг)

$$D = D_1 + D_2. \quad (5.30)$$

Анализ теплового баланса стерилизации консервов паром (табл. 5.3) показывает, что основная статья расхода теплоты — нагрев продукта — составляет 46,9%. Потери теплоты равны 24,2% (на лучеиспускание и продувку), для уменьшения их нужно изолировать поверхность аппарата и сократить время и интенсивность продувки аппарата.

При стерилизации консервов в воде основное количество теплоты расходуется на нагрев воды и продукта. Экономия пара может быть достигнута изоляцией аппарата и использованием для нужд производства горячей воды после стерилизации.

Расход воды на охлаждение консервов зависит от количества теплоты, отдаваемой автоклавом и консервами при охлаждении их до температуры t_K , установленной для данного вида консервов (обычно $t_K = 40 \dots 50^\circ\text{C}$). При этом, однако, температура автоклава, заполняющей его воды, сеток и банок к концу охлаждения на $5 \dots 7^\circ\text{C}$ ниже, чем температура продукта.

С достаточной для технического расчета точностью можно принять, что температура тары, сеток и автоклава t всегда равна температуре воды в автоклаве и только продукт имеет более высокую температуру, равную $t + \Delta t$. На основании этого составим дифференциальное уравнение теплового баланса.

Общая масса автоклава, сеток, банок и воды (кг)

$$G'' = G_1 + G_2 + G_3 + G_4, \quad (5.31)$$

где G_1, G_2, G_3, G_4 — масса соответственно автоклава, сеток, банок и воды, кг.

Таблица 5.3 - Тепловой баланс при стерилизации в автоклаве

Статья баланса	Расход теплоты (%) при стерилизации	
	паром	в воде
Теплота острого пара	100	100
Потери теплоты с конденсатом	4,9	18,44
Расход теплоты на нагрев:		
продукта	46,9	17,25
банок	1,8	3,45
воды	-	41,18

сеток	0,9	2,16
автоклава	11,3	7,35
Потери теплоты:		
в окружающую среду	13,4	10,17
через воздушный краник	10,8	-

Приведенная удельная теплоемкость массы G'' [Дж/(кг·К)]

$$c_{np} = \frac{G_1 c_1 + G_2 c_2 + G_3 c_3 + G_4 c_4}{G''}, \quad (5.32)$$

где c_1, c_2, c_3 — удельные теплоемкости соответственно материала автоклава, сеток и банок, Дж/(кг·К); c_4 — удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К).

Конечная температура автоклава, сеток и воды в автоклаве (°С)

$$t_K'' = t_K - (5 \dots 7), \quad (5.33)$$

где t_K — конечная температура продукта, °С.

Энтальпия системы в любой момент процесса (Дж/кг)

$$i = G'c(t + \Delta t) + G''c_{np}t, \quad (5.34)$$

где G' — масса продукта, кг; c — удельная теплоемкость продукта, Дж/(кг·К). При подводе в автоклав dW (кг) охлаждающей воды температурой t_0 элементарное количество теплоты, отведенной от системы, составит $dW(t - t_0)c_B$.

Измененная энтальпия системы (если Δt принять постоянной)

$$i' = G'c(t + \Delta t + dt) + G''c_{np}(t + dt) \quad (5.35)$$

Таким образом, энтальпия системы уменьшилась на следующее количество (Дж/кг):

$$[G'c(t + \Delta t + dt) + G''c_{np}(t + dt)] - [G'c(t + \Delta t) + G''c_{np}t] = (G'c + G''c_{np})dt \quad (5.36)$$

Энтальпия системы уменьшилась на количество теплоты, увиденное водой, поэтому уравнение теплового баланса имеет вид

$$dWc_B(t - t_0) = (G'c + G''c_{np})dt$$

$$dWc_B = (G'c + G''c_{np})dt / (t - t_0) \quad (5.37)$$

При интегрировании полученного уравнения правую часть его получим в виде суммы двух интегралов с различными верхними пределами интегрирования:

$$W = G' \frac{c}{c_B} \int_{t_K}^{t_c} \frac{dt}{t-t_0} + G'' \frac{c_{np}}{c_B} \int_{t_K}^{t_c} \frac{dt}{t-t_0}$$

из которого после интегрирования получим следующее выражение для расхода охлаждающей воды:

$$W = 2,303 \left(G' \frac{c}{c_B} \lg \frac{t_c-t_0}{t_K-t_0} + G'' \frac{c_{np}}{c_B} \lg \frac{t_c-t_0}{t_K-t_0} \right) \quad (5.38)$$

5.4 Стерилизаторы непрерывного действия

Преимущества непрерывно действующих стерилизаторов перед периодически действующими (автоклавами) состоят в более легких условиях обслуживания; более высокой производительности труда; поточности и непрерывности процесса; отсутствии необходимости накопления банок в автоклавных сетках; меньшей продолжительности стерилизации благодаря более интенсивному теплообмену, который создается при движении банок; меньшей производственной площади.

Барабанные (роторные) стерилизаторы изготовляют двух типов: для стерилизации в воде при атмосферном давлении и для стерилизации в паре при давлении выше атмосферного.

Установка для непрерывной стерилизации состоит из стерилизатора и охладителя, конструктивно почти одинаково оформленных.

Стерилизатор представляет собой неподвижный горизонтально расположенный цилиндрический корпус из листовой стали. Внутри его на валу вращается барабан, к наружной поверхности которого параллельно валу прикреплены полосы из стали таким образом, что между ними размещаются банки.

На внутренней поверхности неподвижного корпуса находится спиральная направляющая из полосовой стали с шагом, равным высоте банки. Для вывода банок из среды с атмосферным давлением и ввода их в среду с избыточным давлением аппарат имеет загрузочное и разгрузочное устройства типа шлюзового затвора.

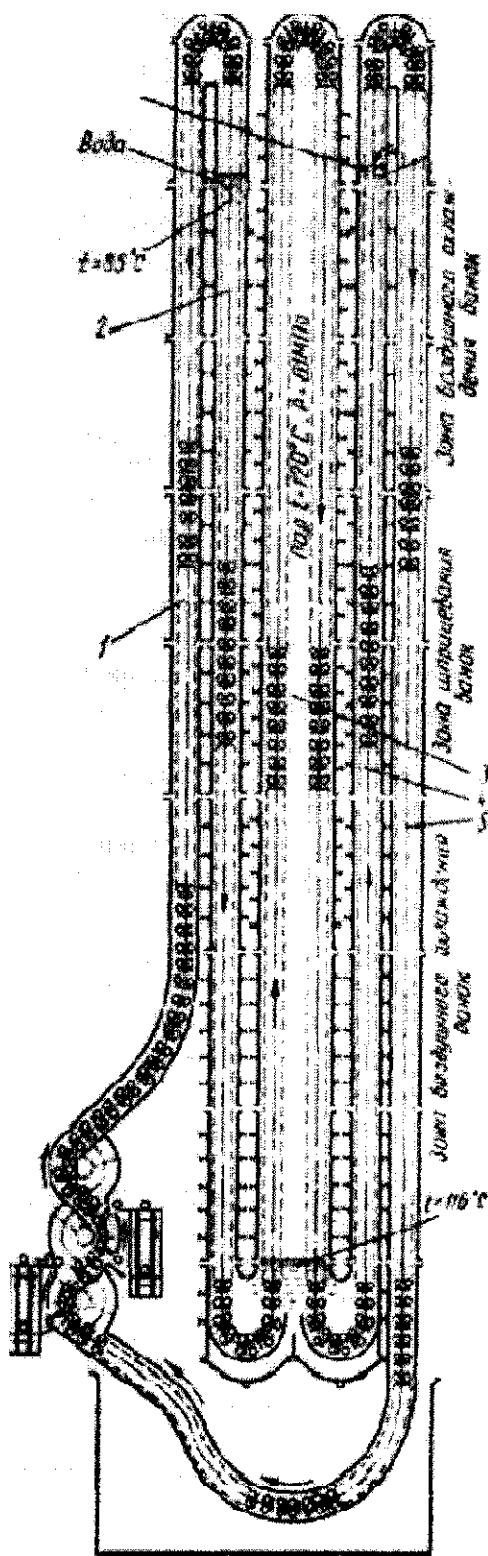


Рисунок 5.6 - Схема гидростатического стерилизатора

Банки цепным элеватором подаются к загрузочному устройству, а из него — в барабан. При вращении последней банки перемещаются от одного конца аппарата к другому благодаря спиральной направляющей. При этом они вращаются вместе с барабаном вокруг его оси. Одновременно банки вращаются вокруг своих осей и совершают поступательное движение вдоль ребра барабана от одного его конца к другому.

Корпус заполнен водой температурой 100°C или паром, благодаря чему происходят подогрев и стерилизация консервов. Продолжительность стерилизации регулируется частотой вращения барабана. Из стерилизатора банки направляются в охладитель, построенный и работающий по тому же принципу, что и стерилизатор, однако вместо горячей воды или пара он наполняется проточной холодной водой.

Стерилизаторы такого типа снабжены приборами, контролирующими и автоматически регулирующими режим стерилизации. Автоматическое выключение стерилизатора происходит в том случае, если температура стерилизации снизилась, а также если по какой-либо причине банка застряла в приемном или разгрузочном клапане.

Роторный стерилизатор непрерывного действия, предназначенный для стерилизации консервов в жестяных банках при температуре, превышающей 100°C , состоит из подогревателя, стерилизатора и охладителя. В подогревателе происходит предварительный нагрев банок и их содержимого до 98°C в воде температурой $40\text{...}50^{\circ}\text{C}$ на входе банок и около 98°C на выходе. Вода нагревается паром, поступающим в нижнюю часть аппарата. Из подогревателя банки при помощи герметизированного клапана попадают в стерилизатор и при вращении ротора перемещаются к другому концу, затем выгружаются через загрузочный клапан в охладитель. Стерилизация протекает в среде водяного пара, давление которого автоматически поддерживается в соответствии с температурой стерилизации.

В охладителе банки, перемещаясь ротором, охлаждаются проточной водой до $30\text{...}40^{\circ}\text{C}$ при избыточном давлении воздуха, предотвращающем деформацию банок. Выгружаются банки из охладителя также при помощи

герметизированного клапана. В стерилизаторе и охладителе поддерживают противодействие воздухом. Все движущиеся части установки приводятся во вращение от одного электродвигателя через вариатор скоростей.

Барабан приводится во вращение с обоих концов вала, благодаря чему предотвращается скручивание ротора. Изменением частоты вращения ротора (0,05...0,6 рад/с) регулируют продолжительность стерилизации. Для регулирования температуры применены самопишущие пневматические терморегуляторы с гибкой связью, воздействующие на вентили, регулирующие подачу пара. Давление регулируется дифференциальным регулятором давления прямого действия.

Недостатки роторных стерилизаторов: возможность стерилизации консервов только в жестяных банках одного размера; возможное помутнение некоторых консервов, например из абрикосов, горошка, клубники и малины; деформация банок в результате резкого изменения температуры и давления; истирание олова на поперечных швах банок.

СКБ ростовского завода «Продмаш» выпускает роторные стерилизаторы непрерывного действия марок КСЖ и СН-1. В аппаратах КСЖ стерилизуются консервы при 100°C в банках № 14. Производительность такого аппарата 20 банок в минуту. В аппаратах СН-1 стерилизуются консервы при 120°C в банках № 9. Производительность такого аппарата 65 банок в минуту (1,1 банки в секунду).

Автоматические гидростатические стерилизаторы непрерывного действия применяют для стерилизации консервов в жестяных банках и бутылках. Под действием гидростатического давления столба воды создается значительное давление в стерилизационной камере, что позволяет поддерживать высокую температуру пара.

Так как столб воды высотой 10 м создает избыточное давление 0,1 МПа, то при этом давлении уже возможна стерилизация в паре при 120° С. Изменяя высоту столба воды, можно регулировать давление в стерилизаторе, а следовательно, и температуру стерилизации. Во многих странах разработаны конструкции гидростатических аппаратов для стерилизации продуктов в таре из разного материала и разной формы. Все гидростатические стерилизаторы характеризуются сравнительно простым устройством и имеют очень высокую производительность, достигающую 1500 банок в минуту (25 банок в секунду).

Гидростатический стерилизатор КГС для стерилизации зеленого горошка в жестяных банках производительностью 3,3 банки в секунду (200 банок в минуту) (рис. 5.6) имеет пять каналов (шахт) прямоугольной формы высотой 13,5 м. Внутри каналов проходит роликовый двухцепной транспортер с носителями для банок, прикрепленными к планкам цепи. Каналы 2, 3 и 4 в нижней части соединены между собой. В каналах 2 и 4 находится вода, а в канале 3 — пар, давление которого равно гидростатическому давлению, создаваемому столбом воды в каналах 2 и 4.

Банки, расположенные в горизонтальном положении на банкодержателях по обе стороны цепи, перемещаются вверх по загрузочному каналу 1, затем переходят в канал 2 и погружаются в воду. Температура воды вверху 70...80°C, а

внизу близка к температуре стерилизации. Перемещаясь вниз по каналу 2, банки с содержимым постепенно нагреваются. Подогрев длится 1500 с. Затем, обогнув зубчатое колесо, банки переходят в канал (шахту 3) и, выйдя из воды, попадают в пространство, заполненное паром, температура которого равна температуре стерилизации, т. е. 120°С.

В канале 3 банки вначале движутся вверх, а затем — вниз, проходя весь путь за 2700 с и стерилизуясь. После стерилизации банки погружаются в воду и переходят в канал 4 с водой, где охлаждаются примерно до 35° С. После охлаждения банки по разгрузочному каналу 5 опускаются вниз, проходя под стерилизатором, и попадают на разгрузочно-загрузочное устройство. Простерилизованные банки выгружаются на нижнюю ветвь ленточных транспортеров (наружный и внутренний), затем в освободившиеся носители с верхней ветви транспортера вталкиваются новые банки.

Пар давлением 0,6 МПа подводится как в нижнюю часть канала 3 в воду, так и в верхнюю, расход пара 0,92 кг/с. Охлаждающая вода подводится в канал 4 в количестве около 0,0007 м³/с.

Для перемещения транспортера с банками в стерилизаторе установлен электродвигатель мощностью 2,8 кВт. Стерилизатор имеет сравнительно большие габаритные размеры (м): высота 15,34, длина 6,2, ширина 5,75.

Каждый из ленточных транспортеров, подающих и уносящих банки, оснащен электродвигателем мощностью 1 кВт. Продолжительность стерилизации можно изменять в пределах 1200...4560 с.

В гидростатическом стерилизаторе «Гидрон» (Англия) стерилизуется 6,1 банки (диаметром 76,1 мм и высотой 96,6 мм) в секунду. Температура стерилизации может быть доведена до 120°С, продолжительность — до 2340 с. По данным фирмы, стерилизаторы имеют производительность 2,8...24 банок в секунду в зависимости от времени стерилизации, которое изменяется от 432 до 1326 с. Расход пара и воды на 1 кг продукта соответственно 0,16...0,24 и 1...5 кг.

Гидростатические стерилизаторы «Гидрон» имеют следующие недостатки: громоздкость, большая высота здания для их монтажа, большие размеры фундамента из-за наличия охлаждающего канала (бассейна). Кроме того, в них можно стерилизовать консервы в банках только одного размера. Габаритные размеры стерилизатора 5930x2380x16700 мм.

Имеются также гидростатические стерилизаторы, в которых установлено два параллельно работающих конвейера: благодаря этому консервы можно стерилизовать разное время в банках разных размеров, но при одинаковой температуре.

Пневмогидростатический стерилизатор *OHS-1* выпускается в Венгрии под названием «Хунистер». В основу его работы положен принцип создания в камере стерилизации давления, превышающего давление насыщенных паров воды при заданной температуре стерилизации, за счет подачи газообразного агента — воздуха в камеру стерилизации.

Корпус аппарата состоит из трех секций: подогрева, стерилизации и охлаждения. В секцию подогрева входят шесть ванн-колонн, расположенных друг за другом. Каждая ванна разделена на равные камеры разделительными

пластинами, которые отделены одна от другой с помощью промежуточных пластин, крепящихся к днищу корпуса. Секция стерилизации представляет собой отдельную камеру, а секций охлаждения, как и секция нагрева, имеет шесть ванн-колонн.

Рабочий орган стерилизатора — двухцепной транспортер, перемещающий банки с продуктом последовательно по секциям. Между цепями транспортера с определенным шагом закреплены носители банок, состоящие из двух перфорированных полуцилиндров — наружного и внутреннего. Наружный цилиндр снабжен пластинами с проушинами, с помощью которых он поворачивается вокруг внутреннего цилиндра, т. е. закрывает или открывает носитель. Банки в носители попадают в лежащем положении.

Противодавление внутри аппарата обеспечивается гидростатическим давлением водяных колонн. Благодаря последовательному расположению колонн гидростатическое давление невысоких (4 м) водяных колонн суммируется. В секцию собственно стерилизации кроме пара подается воздух. В случае превышения допустимого давления воздуха в паровоздушном пространстве уровень воды под действием воздуха понижается и воздух через перфорированную трубу проходит в ресиверную башню. Таким образом, избыток воздуха стравливается из данной ванны, уровень воды опять поднимается и давление стабилизируется.

Вода в ваннах секции подогрева нагревается в результате впрыскивания пара из магистрали через регуляторы прямого действия. Банки с продуктом после секции стерилизации попадают в секцию предварительного охлаждения, где давление в нижней части колонны достигает максимального значения — 280 кПа. Затем банки охлаждаются в секции охлаждения.

Преимущества стерилизатора «Хунистер»: возможность стерилизации различных консервов как в стеклянной, так и в металлической таре, регулирование давления в аппарате в зависимости от температуры стерилизации; относительно меньшая высота аппарата по сравнению с гидростатическими стерилизаторами. Однако стерилизаторы «Хунистер» все-таки очень громоздки и сложны по конструкции.

В табл. 5.4 приведены технические характеристики стерилизаторов непрерывного действия, работающих под давлением.

Расчет стерилизаторов непрерывного действия проводят следующим образом.

Производительность барабанного стерилизатора (банок в секунду)

$$П = M/\tau, \quad (5.39)$$

где M — число банок, одновременно находящихся (загруженных) в стерилизаторе; τ — продолжительность стерилизации, включая время подогрева до температуры стерилизации, с.

Производительность стерилизатора с гидростатическим давлением или с пластинчатым транспортером (банок в секунду)

$$n = va^{-1}n_k\varphi \quad (5.40)$$

где v — скорость движения цепей транспортера, несущего банки, м/с; a — расстояние между центрами банок в стерилизаторе с пластинчатым транспортером либо между банконосителями (корзинами) в гидростатическом стерилизаторе, м; n_k — число банок в одном банкодержателе (или корзине) гидростатического стерилизатора (для стерилизатора с пластинчатым транспортером $n_k = 1$); p — коэффициент заполнения.

Тепловым расчетом определяют расход пара и охлаждающей воды в стерилизаторе. Покажем на примерах метод теплового расчета стерилизатора

Таблица 5.4 - Техническая характеристика стерилизатора непрерывного действия

Показатели	Стерилизаторы					
	роторный	конвейерный	гидростатический			«Хунистер»
			«Хайдрон»	«Старк»	А9ФСА	
Производительность банок №9 в минуту	126...253	23...186	168...1440	233...770	87...254	98...369
Диапазон собственной стерилизации, мин.	15...30	11...30	7...62	15...50	40...116	6,5...44,5
Диаметр обрабатываемых банок, мм	76	68...103	76	85...110	76...102,5	76...110
Температура стерилизации, °С	до 120	до 127	117...121	110...128	113...125	96...134
Занимаемая площадь, м ²	170	71,6	42	30	43	120
Высота, мм	3200	3025	17000	19600	18320	6000
Удельный расход, кг/кг:						
пара	0,15	0,15	0,16...0,25	0,14	0,17	0,14
воды	1,6	1,6	1,1...2,0	1,7	1,35	1,6...2,0
Масса, кг	-	25400	-	225000	76000	101000

Пример 1. Определить производительность барабанного стерилизатора при времени стерилизации $\tau=1320$ с (22 мин) и $\tau=1980$ с (33 мин), а также расход пара, если температура стерилизации томат-пасты в банке № 14 $t_4=98^\circ\text{C}$, начальная температура томат-пасты 40°C , окружающего воздуха $t_6=25^\circ\text{C}$. Давление греющего пара $p=0,6$ МПа, влажность 5%.

1. Число банок, одновременно находящихся в барабане стерилизатора,

$$M = zn; \quad M = 30 \cdot 22 = 660,$$

где z — число витков спиральной направляющей;

$$z = L_p/S; \quad z = 5910/197 = 30;$$

L_p — длина ротора ($L_p=5910$ мм); S — шаг спирали ($S=197$ мм); n — число банок на одном витке;

$$n = \pi D_4/a; \quad n = 3,14 \cdot 1187/169 = 22.$$

Диаметр окружности, проходящей через центр банок,

$$D_4 = D_p + d_6; \quad D_4 = 1030 + 157 = 1187 \text{ мм},$$

где D_p — диаметр ротора ($D_p=1030$ мм); d_6 — диаметр банки № 14 ($d_6=157$ мм).

Расстояние между центрами банок

$$a = d_6 + b; \quad a = 157 + 12 = 169 \text{ мм},$$

где b — зазор между банками (принимается $b=12$ мм).

2. Производительность стерилизатора при продолжительности стерилизации $\tau=1320$ с (22 мин)

$$\Pi = N/\tau; \quad \Pi = 660/1320 = 0,5 \text{ банки в секунду} = 30 \text{ банок в минуту.}$$

При времени стерилизации $\tau = 1980$ с (33 мин) производительность стерилизатора

$$\Pi = 660/1980 = 0,33 \text{ банки в секунду} = 20 \text{ банок в минуту.}$$

3. Расход теплоты при производительности стерилизатора 0,33 банки в секунду (20 банок в минуту, или 1200 банок в час) складывается из следующих статей:

а) расход теплоты на нагрев жестяных банок (тары)

$$Q_1 = G_6 c_6 (t''_6 - t'_6); \quad Q_1 = 0,11 \cdot 0,46(98 - 40) = 2,9 \text{ кВт},$$

где c_6 — теплоемкость жести (стали); $c_6=0,46$ кДж/(кг·К); t''_6 — конечная температура банки, равна температуре стерилизации 98°C ; t'_6 — начальная температура банки, принята равной 40°C .

Масса банок (тары)

$$G_6 = \Pi m_6; G_6 = 0,33 \cdot 0,33 = 0,11 \text{ кг/с}; G_6 = 1200 - 0,33 = 396 \text{ кг/ч},$$

где m_6 — масса одной жестяной банки (тары); $m_6 = 0,33 \text{ кг}$;

б) расход теплоты на нагрев томат-пасты в банках

$$Q_2 = G_{\Pi} c_{\Pi} (t''_{\Pi} - t'_{\Pi})$$

$$Q_2 = 1,0 \cdot 3,3(98 - 40) = 194 \text{ кВт},$$

где G_{Π} — масса томат-пасты;

$$G_{\Pi} = G m_{\Pi}; \quad G_{\Pi} = 0,33 \cdot 3 = 1 \text{ кг/с} = 1200 - 3 = 3600 \text{ кг/ч},$$

m_{Π} — масса томат-пасты в одной банке № 14 (равная 3 кг); c_{Π} — теплоемкость 30%-ной томат-пасты; $c_{\Pi} = 3,3 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$; t'_{Π} и t''_{Π} — начальная и конечная температура томат-пасты, °С;

в) потери теплоты в окружающую среду; определяют отдельно для изолированной и неизолированной поверхности барабана. Площадь наружной поверхности стерилизатора

$$F = 1\pi D_K L_K + \frac{\pi D^2}{4} \cdot 2;$$

$$F = 3,14 \cdot 1,4 \cdot 6,5 + \frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} \cdot 2 = 32 \text{ м}^2,$$

где D_K — диаметр корпуса барабана; $D=1400 \text{ мм}$; L_K — длина корпуса барабана; $L_K = 6500 \text{ мм}$.

Площадь изолированной части поверхности барабана составляет 70% общей:

$$F_{\text{из}} = 0,7F; \quad F_{\text{из}} = 0,7 \cdot 32 = 22 \text{ м}^2.$$

Площадь неизолированной части поверхности барабана

$$F_{\text{н}} = F - F_{\text{из}}; \quad F_{\text{н}} = 32 - 22 = 10 \text{ м}.$$

Потери теплоты путем конвекции и лучеиспускания с изолированной поверхности барабана

$$Q'_3 = \alpha_0 F_{\text{из}} (t_{\text{ст}} - t_{\text{в}});$$

$$Q'_3 = 11,63 \cdot 22(49 - 25) = 6,1 \text{ кВт},$$

где α_0 — суммарный коэффициент теплоотдачи; $\alpha_0 = 9,7 + 0,07$; $(t_{\text{ст}} - t_{\text{в}}) = 9,7 + 0,07(49 - 25) = 11,63 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$; $t_{\text{ст}}$ — температура на поверхности стенки изоляции при оптимальной толщине изоляции ($t_{\text{ст}} = 0,5 t_c = 0,5 \cdot 98 = 49 \text{ °С}$).

Потери теплоты неизолированной частью поверхности барабана

$$Q''_3 = \alpha_0 F_H (t_c - t_B);$$

$$Q''_3 = 15 \cdot 10(98 - 25) = 11 \text{ кВт},$$

где $\alpha_0 = 9,7 + 0,07(98 - 25) = 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Общий расход теплоты на процесс стерилизации

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + Q'_3 + Q''_3 = 214 \text{ кВт},$$

4. Расход пара

$$D = \frac{Q_{\text{общ}}}{(i - i_K)x'}$$

$$D = \frac{214}{(2655,7 - 410) \cdot 0,95} = 0,095 \text{ кг/с},$$

где i — энтальпия пара при давлении $p=0,6 \text{ МПа}$ и степени сухости $x=0,95$ ($i=2655,7 \text{ кДж/кг}$); i_K — энтальпия конденсата при $t_c = 98 \text{ }^\circ\text{C}$ ($i_K=410 \text{ кДж/кг}$).

Пример 2. Определить расход пара в гидростатическом стерилизаторе, если производительность его $q=1,33$ банки № 9 зеленого горошка в секунду (80 банок в минуту), температура стерилизации $t_c=120^\circ\text{C}$, начальная температура банки и зеленого горошка $t_{61} = t_{\text{пр}1} = 35^\circ\text{C}$, воды $t_H^B=18^\circ\text{C}$, воздуха в цехе $t_B=25^\circ\text{C}$, транспортера $t_{\text{тр}}=30^\circ\text{C}$. Площадь поверхности излучения паровой камеры $F_m=58 \text{ м}^2$. Давление греющего пара $p=0,2 \text{ МПа}$ и степень сухости $x=0,95$.

1. Расход теплоты стерилизатора складывается из следующих статей: а) расход теплоты на нагрев банок (тары)

$$Q_1 = \Pi m_6 c_6 (t_{62} - t_{61});$$

$$Q_1 = 1,33 \cdot 0,08 \cdot 0,46 \cdot (120 - 35) = 4175 \text{ Вт} = 4,2 \text{ кВт},$$

где Π — производительность стерилизатора; $\Pi=1,33$ банки в секунду (4800 банок в час); m_6 — масса жестяной банки № 9; $m_6=0,08 \text{ кг}$; c_6 — теплоемкость жести (стали); $c_6=0,46 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; t_{61} и t_{62} — начальная и конечная температуры банки; $t_{61}=35 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{62}=120 \text{ }^\circ\text{C}$;

б) расход теплоты на нагрев продукта (зеленого горошка)

$$Q_2 = \Pi m_{\text{пр}} c_{\text{пр}} (t_{\text{пр}2} - t_{\text{пр}1});$$

$$Q_2 = 1,33 \cdot 0,36 \cdot 3,76 \cdot (120 - 35) = 1,5 \text{ кВт},$$

где $m_{\text{пр}}$ — масса продукта (зеленого горошка) в одной банке № 9; $m_{\text{пр}}=0,36 \text{ кг}$; $c_{\text{пр}}$ — теплоемкость зеленого горошка; $c_{\text{пр}}=3,76 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; $t_{\text{пр}1}$ и $t_{\text{пр}2}$ — начальная и конечная температуры зеленого горошка; $t_{\text{пр}1}=35 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_{\text{пр}2} = t_c = 120 \text{ }^\circ\text{C}$;

в) расход теплоты на нагрев транспортных устройств

$$Q_3 = G_{\text{тр}} c_{\text{тр}} (t_{\text{тр}2} - t_{\text{тр}1});$$

$$Q_3 = 0,12 \cdot 0,46 \cdot (120 - 30) = 5,0 \text{ кВт},$$

где $G_{\text{тр}}$ — масса транспортных устройств $G_{\text{тр}} = \nu m_{\text{тр}} = 0,008 \cdot 15 = 0,12 \text{ кг/с}$ (450 кг/ч); ν — скорость движения транспортера; $\nu=0,008 \text{ м/с}$ (0,5 м/мин); $m_{\text{тр}}$ — масса 1 м транспортера; $m_{\text{тр}}=15 \text{ кг/м}$; $c_{\text{тр}}$ — теплоемкость стали; $c_{\text{тр}}=0,46 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$; $t_{\text{тр}1}$ и $t_{\text{тр}2}$ — начальная и конечная температуры транспортера; $t_{\text{тр}1}=30 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\text{тр}2} = t_c = 120 \text{ }^\circ\text{C}$;

г) расход теплоты на нагрев доливаемой воды

$$Q_4 = \Pi m_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_{\text{в}2} - t_{\text{в}1});$$

$$Q_4 = 1,33 \cdot 0,5 \cdot 4,18(120 - 18) = 284,7 \text{ кВт},$$

где $m_{\text{в}}$ — расход воды на долив; $m_{\text{в}}=0,5 \text{ кг}$ на банку; $c_{\text{в}}$ — теплоемкость воды; $c_{\text{в}}=4,18 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$; $t_{\text{в}1}$ и $t_{\text{в}2}$ — начальная и конечная температуры воды; $t_{\text{в}1}=18 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\text{в}2}=120 \text{ }^\circ\text{C}$;

д) расход теплоты на потери в окружающую среду путем излучения и конвекцией

$$Q_5 = \alpha_0 F_{\text{из}} (t_{\text{ст}} - t_{\text{в}});$$

$$Q_5 = 16,5 \cdot 58(120 - 25) = 90353 \text{ Вт} = 90 \text{ кВт},$$

где $\alpha_0 = 9,7 + 0,07(120 - 25) = 16,5 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$; $t_{\text{ст}}$ — температура поверхности неизолированной стенки стерилизатора; $t_{\text{ст}} = t_c = 120 \text{ }^\circ\text{C}$.

Общий расход теплоты

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5,$$

$$Q_{\text{общ}} = 538144 \text{ кВт},$$

Расход пара

$$D = \frac{Q_{\text{общ}}}{(i - i_K)x'}$$

$$D = \frac{538}{(2596 - 502) \cdot 0,95} = 0,25 \text{ кг/с},$$

где i — энтальпия пара, при $p=0,2 \text{ МПа}$ и $x=0,95$ $i=2596 \text{ кДж/кг}$; i_K — энтальпия конденсата; при $t_c=120 \text{ }^\circ\text{C}$ $i_K=502 \text{ кДж/кг}$.

5.5 Инжекционный стерилизатор

При асептическом консервировании продукт подвергается кратковременной стерилизации при высоких температурах (135...170°C), затем он быстро охлаждается и разливается в асептических условиях в стерильные банки. Достоинства асептической стерилизации по сравнению со стерилизацией в автоклаве: быстрота протекания процесса при значительно меньшем расходе пара, воды и электроэнергии на единицу продукции, возможность автоматизации процесса.

Стерилизацию продукта при высоких температурах и охлаждение его проводят в трубчатых или пластинчатых теплообменниках, подобных пластинчатому пастеризатору, а также в пароконтактных стерилизаторах; в последних продукт смешивается с инжектируемым острым паром высокого давления и затем охлаждается в вакуум-камере.

Вследствие значительных гидравлических сопротивлений, большой металлоемкости и возможности образования нагара трубчатые теплообменники для асептической стерилизации применяют редко.

Инжекционный стерилизатор лишен указанных недостатков: образование нагара и пригорание продукта на поверхности нагрева в нем не наблюдается. Кроме того, в этом стерилизаторе процесс нагревания протекает во много (десятки) раз быстрее, чем в поверхностных теплообменниках, а охлаждение самоиспарением под вакуумом происходит почти мгновенно.

При работе инжекционного стерилизатора (рис. 5.7) продукт насосом 4 нагнетается в инжекционную головку 3, в которой он смешивается с острым паром, проходящим через отверстия 2. Благодаря интенсивному перемешиванию мешалкой, установленной на валу 1, продукт равномерно нагревается до температуры, соответствующей давлению пара. При этой температуре продукт находится в трубе 5 в течение необходимого для стерилизации времени.

После вторичного перемешивания винтовой мешалкой 6 продукт поступает в вакуум-камеру 9 через обратный клапан 7. Вследствие резкого

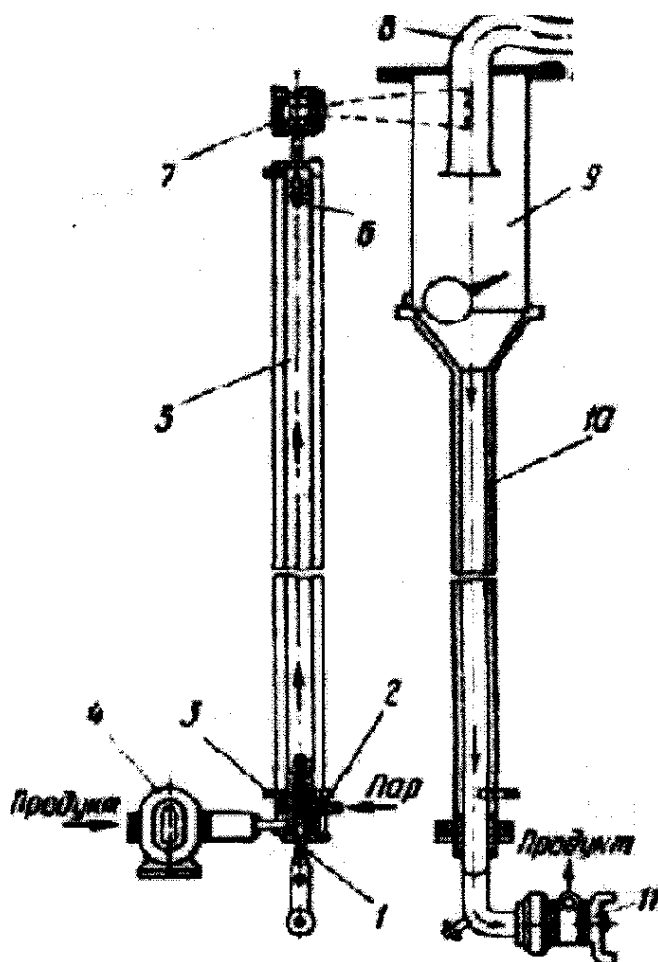


Рисунок 5.7- Схема инжекционного стерилизатора

уменьшения давления при переходе в вакуум-камеру влага из продукта самоиспаряется. При этом продукт охлаждается до 35...37° С и в виде пара из него удаляется та часть воды, которая попала в него при конденсации пара в инъекционной головке.

Вторичные пары, образовавшиеся в вакуум-камере, направляются по трубе 8 в конденсатор, соединенный с вакуум-насосом. Продукт по барометрической трубе 10 перемещается к продуктовому насосу 11 и нагнетается им в наполнитель. Уровень продукта в вакуум-камере автоматически поддерживается с помощью насоса, а температура стерилизации регулируется давлением и количеством пара, выпускаемого в головку инжектора.

5.6 Установка для стерилизации токами высокой частоты (ВЧ)

При стерилизации электрическим током высокой частоты содержимое банки прогревается одновременно и равномерно до заданной температуры за несколько десятков секунд вне зависимости от размера тары и теплопроводности продукта. В процессе стерилизации токами ВЧ не наблюдается заметного изменения химического состава продукта, запаха, вкуса, цвета и содержания витамина С.

Интенсивность повышения температуры продукта зависит от количества поглощаемой энергии, выражаемой через мощность (Вт),

$$p = E^2 \omega C t g \delta. \quad (5.41)$$

Мощность P , или интенсивность нагревания, можно повысить только за счет увеличения круговой частоты переменного тока ω , так как напряжение E , подводимое к материалу, нельзя сильно увеличить во избежание пробоя. Емкость конденсатора C обусловлена размером банки или бутылки. Коэффициент поглощения электрической энергии зависит от свойств материала, подвергаемого нагреванию.

Исследования Центральной лаборатории электромагнитных волн показали, что при стерилизации консервов наиболее рациональным оказался диапазон сверхвысоких частот порядка $3 \cdot 10^8 \dots 3 \cdot 10^7$ Гц.

При применении тока сверхвысокой частоты температура в банке компота повышается до 100°С за 30...60 с одновременно по всему объему. Микроорганизмы, находящиеся в поле тока высокой частоты, быстро погибают, поэтому нет необходимости долго выдерживать консервы при высоких температурах.

Токи ВЧ можно применять для стерилизации компотов и соков в стеклянной таре при 100°С, если не требуется противодействия, предотвращающего срыв крышек с банок. Исследования показали, что токами ВЧ можно стерилизовать мясо и рыбное филе в стеклянной банке при 145°С в течение 3 мин. Однако осуществить этот процесс можно с помощью сложной

аппаратуры, обеспечивающей противодействие как во время стерилизации, так и при охлаждении.

На пульте управления установки для стерилизации токами сверхвысокой частоты смонтированы все контрольно-измерительные приборы: рубильники и предохранители, выпрямитель, генератор вторичного колебательного контура с конденсатором, между электродами которого помещаются банки с консервами, подлежащие стерилизации. Выпрямитель преобразует переменный ток сети в постоянный ток высокого напряжения; генератор превращает постоянный ток, поступающий из выпрямителя, в переменный ток высокой частоты.

5.7 Установки для стерилизации ионизирующим облучением

Ионизирующее облучение малыми дозами используют для продления срока хранения пищевых продуктов, большими дозами — для консервирования продуктов. Большие дозы и мощные источники излучения при консервировании пищевых продуктов обусловлены тем, что смертельные дозы для микрофлоры составляют 25,8...258 крад/кг при одновременном облучении сравнительно больших количеств продукта.

Для консервирования пищевых продуктов практическое значение могут иметь только γ -лучи и катодные лучи, так как β -лучи и рентгеновские лучи характеризуются очень малой энергией и интенсивностью. Применение α -лучей, нейтронов, протонов, дейтронов недопустимо, так как они делают продукты непригодными для питания.

Изотопный γ -облучатель, применяющийся в качестве источника γ -излучения и заряженный металлическим кобальтом-60 или стронцием-90 с повышенной удельной активностью, имеет две активные плоскопараллельные пластины, между которыми помещается продукт. Для защиты обслуживающего персонала облучатель помещен в специальной камере с толстыми бетонными стенами и лабиринтным входом. В нерабочем положении облучатель погружается в бассейн с водой.

Облучение катодными лучами осуществляют при помощи линейного ускорителя электронов, работающего на электромагнитной стоячей волне. При таком облучении продукт находится в бетонированной камере на транс-портере. Доза регулируется скоростью транспортера, т. е. временем пребывания продукта в зоне действия электронного пучка.

При консервировании пищевых продуктов ионизирующее облучение большими дозами вызывает в ряде случаев появление вкуса и запаха, не свойственных свежим продуктам, а, также изменяет их цвет и консистенцию. Вследствие этого ионизирующее облучение находит пока ограниченное применение и является предметом дальнейших исследований.

5.8 Аппараты для стерилизации консервов новыми способами

В Одесском технологическом институте пищевой и холодильной промышленности была проверена возможность стерилизации консервов в

потоке горячего воздуха (или в потоке отходящих котельных газов). Исследования показали, что прогреваемость жидких продуктов в банках в потоке воздуха мало отличается от прогреваемости при стерилизации в автоклаве горячей водой или паром. Была разработана конструкция аппарата для стерилизации консервов в потоке горячего газа. В стерилизаторе непрерывного действия предусматривается применение термомеханических или механических прижимов, предотвращающих срыв крышек со стеклянных банок.

Стерилизатор представляет собой камеру, в которой банки, уложенные в специальные носители с прижимами, перемещаются транспортером в потоке отходящих газов из котельной. После стерилизации с банок удаляют загрязнения теплой водой (под душем) в течение 1...1,5 мин. Вопросы эффективности применения этого метода решаются в каждом отдельном случае в зависимости от условий работы предприятия.

Консервы можно стерилизовать не только в среде воды или водяного пара, но также в жидкостях, температура которых при атмосферном давлении превышает 100°C. Для этого применяют масла, а также различные чистые жидкости и смеси (растворы). Так, в стерилизаторе «Хейнца» (Англия) в качестве теплопередающей среды используют смесь трихлорэтилена (температура кипения при атмосферном давлении 87,2° С) и тетрахлорэтилена (температура кипения 120,8° С). Изменяя соотношение этих веществ в растворе, получают пары температурой между 87 и 120 °С.

Стерилизатор и охладитель имеют один общий конвейер, на котором шарнирно укреплены лотковые носители для банок. В каждом лотке размещается до 96 банок. Конвейер с лотками перемещается в стерилизаторе в парах смеси трихлорэтилена и тетрахлорэтилена. Смесь паров не выходит наружу, так как ее плотность в 4...6 раз больше плотности воздуха. Банки охлаждаются в охладителе холодной водой и воздухом.

В Дагестанском политехническом институте (ныне Дагестанский государственный технический университет) разработан аппарат для стерилизации продуктов в стеклянной и жестяной таре. Аппарат представляет собой прямоугольную камеру, разделенную на три секции: подогрева, стерилизации и охлаждения. Для подачи и перемещения банок из одной секции в другую служит пластинчатый транспортер.

В первую секцию поступают предварительно подкатанные банки с крышками, а между секциями подогрева и стерилизации установлена машина окончательной закатки банок. В секциях подогрева и стерилизации установлены калориферы (паровые) и вентиляторы.

В первой секции циркулирует воздух температурой 140...150°C. Закатанные банки поступают в секцию стерилизации, куда подается воздух температурой 110... 120°C. Секции подогрева и стерилизации работают по замкнутому циклу, т. е. воздух полностью рециркулирует.

Из секции стерилизации банки поступают в секцию охлаждения водо-воздушной смесью и струями холодной воды. Скорость перемещения транспортера регулируется вариатором.

Полупромышленный образец стерилизатора непрерывного действия для консервов в жестяной таре эксплуатируется в консервном цехе Буйнакского консервного завода. Аппарат состоит из трех установленных друг на друга и укрепленных на каркасе камер: предварительного подогрева, стерилизации и охлаждения. Внутри камер имеются направляющие, благодаря которым банки катятся по цепным транспортерам с толкателями.

Банки с продуктом после закаточной машины по открытым направляющим течкам под действием собственного веса поступают в камеру предварительного нагрева, где омываются горячим воздухом, нагретым в электрическом калорифере. Подача и рециркуляция воздуха в аппарате производятся с помощью вентилятора и воздуховода. Температура греющего воздуха автоматически поддерживается на заданном уровне.

Банки с продуктом, непрерывно вращаясь вокруг собственной оси, проходят через камеру предварительного нагрева и омываются воздухом температурой 170...180°C. Затем банки по открытым течкам направляются в камеру стерилизации, где нагреваются потоком воздуха температурой 170...180°C. Наконец банки поступают в камеру охлаждения, где охлаждаются в потоке воздуха, увлажненного водой, распыляемой форсунками.

Техническая характеристика стерилизатора, установленного на Буйнакском консервном заводе: производительность 60 банок в минуту; удельный расход на 1 кг продукта электроэнергии 0,04 кВт, воды 0,08 кг; продолжительность нагрева 10 мин, охлаждения 8 мин; частота вращения банок 10 мин⁻¹; температура греющего воздуха 170...180°C; габаритные размеры 8000x1500x2500 мм; масса аппарата 3000...4000 кг.

Благодаря вращению банок во время тепловой обработки продолжительность стерилизации сокращается на 65...70 %. Важной особенностью аппарата является возможность визуальной отбраковки негерметичных банок, признаком которых служит подтек продукта в виде кольца коричневого цвета на поверхности шва.

Для стерилизации консервов в металлической таре в аппаратах открытого типа при температуре выше 100°C необходимы специальные носители, конструкция которых обеспечивала бы свободную загрузку и выгрузку банок, механическое прижатие торцевых поверхностей для исключения деформации банок при их тепловой обработке, а также позволила бы вращение банок для интенсификации процесса теплообмена. Таким требованиям соответствует носитель банок (а. с. 1769841 СССР. — Б. И., 1992, № 39), который состоит из параллельно установленных на двух валах торцевых пластин, между которыми помещены дополнительные пластины, которые могут перемещаться по горизонтали. На одном валу за торцевой пластиной размещено специальное приспособление, обеспечивающее перемещение дополнительных пластин по горизонтали и, следовательно, плотное прижатие банок между дополнительными пластинами. На конце второго вала закреплена шестерня, благодаря которой вращается носитель с банками при их тепловой обработке.

Для консервов в металлической таре целесообразно применять ротационный способ интенсификации теплообмена с электроточным

нагревом, заключающийся в том, что к торцевым поверхностям металлической банки с продуктом подводят электроэнергию с низким напряжением ($U = 3 \dots 5$ В) и силой тока 1000...1500 А. Электрическое сопротивление продукта в банке значительно выше сопротивления самой стенки, и поэтому ток, проходя по стенке, быстро нагревает ее. Затем от стенки нагревается и продукт. Продолжительность прогрева продукта в банках при электроконтактном нагреве сокращается в 5...6 раз, а общая продолжительность стерилизации — более чем на 50%.

Для стерилизации консервов гетерогенной консистенции (компоты, маринады, зеленый горошек) в стеклянной таре разработаны так называемый пароконтактный способ и устройство его осуществления (а. с. 1063366 СССР. — Б. И., 1983, № 48). Сущность этого способа заключается в том, что в банки с продуктом подается водяной пар определенного давления путем барботирования. При непосредственном контакте пара с продуктом последний быстро нагревается до необходимой температуры, после чего банки накрываются подготовленными крышками, облучаются инфракрасными лучами (30 с). Затем банки укупоривают, поддерживают достигнутую температуру в течение 5...10 мин и охлаждают.

При пароконтактном способе продолжительность стерилизации сокращается более чем на 60%.

Для стерилизации консервов в стеклянной таре в аппаратах непрерывного действия разработан носитель (а. с. 1692531 СССР. — Б. П., 1991, № 43), с помощью которого можно свободно загрузить и выгрузить банки и обеспечить герметичность тары при тепловой обработке.

Вышеуказанные способы и устройства, разработанные в Дагестанском политехническом институте, испытаны в производственных условиях, результаты испытания подтвердили их эффективность.

5.8.1 Аппарат для стерилизации нагретым воздухом и двухэтапным охлаждением

На рисунке 5.8 представлена конструкция аппарата [2] для осуществления процесса высокотемпературной ротационно-прерывистой стерилизации консервов нагретым воздухом с двухэтапным охлаждением.

Аппарат состоит из сварного каркаса из угловой стали 1, на котором установлены камера нагрева 4, выдержки 6 и двухэтапного охлаждения 8, транспортирующего органа 5, выполненного из двух роликотулочных цепей, приводимых в движение приводными звездочками 10. К роликотулочной цепи шарнирно закреплены носители 3 для банок 12. К секции нагрева с одной стороны закреплен вентилятор 2 для подачи нагретого воздуха от калорифера, а отработанный воздух забирается с обратной стороны камеры нагрева и направляется обратно в калорифер (на схеме не показан). Камера охлаждения оборудована вентилятором 7 для

подачи холодного воздуха и разбрызгивателями воды 9, для обеспечения двухэтапного охлаждения.

Работа аппарата осуществляется в следующем режиме.

Транспортер с банками совершает поступательное прерывистое движение, постепенно переходя из камеры в камеру. При этом, подача банок в носители осуществляется в момент остановки транспортирующего органа, где в носители подаются банки поступающие на тепловую обработку, и при дальнейшем перемещении цепи 5, носители 12 с банками поступают в камеру нагрева 4.

В камере нагрева посредством подачи нагретого воздуха температурой 140-160°C. После соответствующей тепловой обработки с банками переходят в камеру выдержки 6 и далее в камеру охлаждения 8, расположенную под секцией нагрева.

Процесс охлаждения на первом этапе осуществляется атмосферным воздухом далее на втором этапе на поверхность банок, обдуваемых атмосферным воздухом попеременно с интервалом 5-10 с.

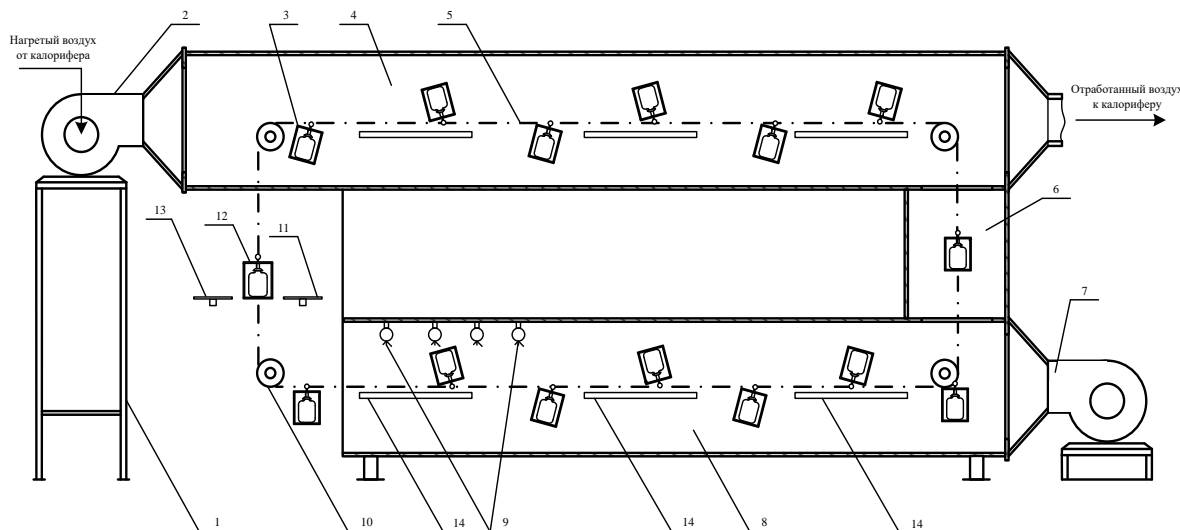


Рисунок 5.8 – Аппарат для ротационно-прерывистой стерилизации консервов нагретым воздухом с двухэтапным охлаждением

5.8.2 Аппарат для тепловой стерилизации в жидких высокотемпературных теплоносителях с двухэтапным охлаждением

Конструктивная схема аппарата для интенсивной тепловой стерилизации с использованием жидких высокотемпературных теплоносителей (раствор хлористого кальция или диметилсульфооксида) и двухэтапным охлаждением, представлена на рисунке 5.9.

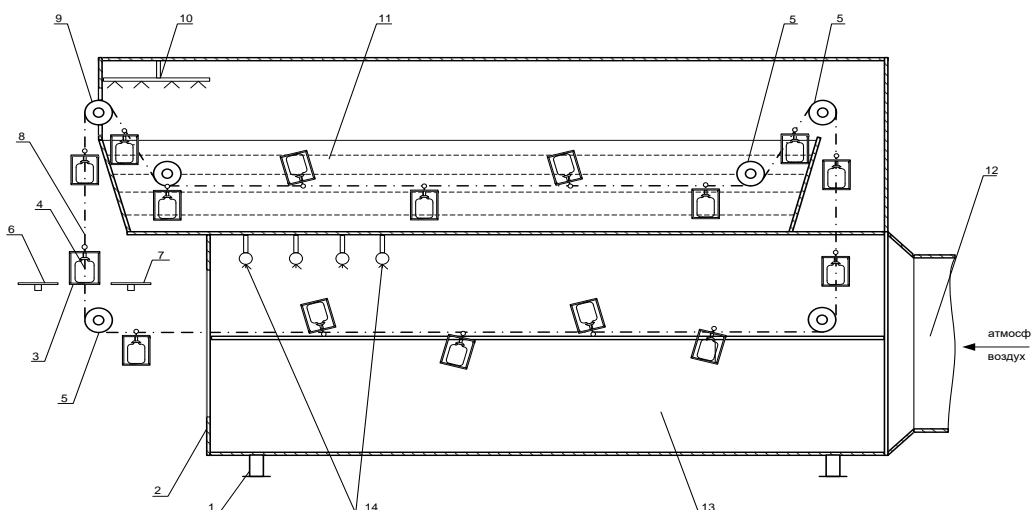


Рисунок 5.9 - Аппарат для интенсивной ротационной стерилизации консервов в жидких высокотемпературных теплоносителях с двухэтапным охлаждением: 1-стойки; 2-корпус; 3,5- звездочки; 4 - банки; 6- транспортер для подвода банок; 7- транспортер для отвода банок; 8-транспортирующий орган; 9-ведущая звездочка; 10-оросительное устройство; 11-ванна с высокотемпературным теплоносителем; 12- патрубок подачи атмосферного воздуха; 13-камера охлаждения; 14-душевые устройства.

Работа аппарата осуществляется следующим образом. Транспортирующий орган совершает поступательное прерывистое движение, постепенно передвигаясь вместе со стерилизуемыми банками в носителях в камере нагрева и далее в камере охлаждения. При этом, подача банок в носители осуществляется в момент остановки транспортирующего органа. Перед входом в ванну с высокотемпературным теплоносителем подвергаются орошению горячей водой температурой $85-90^{\circ}\text{C}$ из душевого устройства 10, что способствует предотвращению термического боя банок.

Далее банками попадают в ванну с высокотемпературным теплоносителем (раствор хлористого кальция или диметилсульфооксида) температурой $110-120^{\circ}\text{C}$. Пройдя ванну с высокотемпературным теплоносителем, носители с банками переходят в камеру охлаждения, где подвергаются двухэтапному охлаждению, на первом этапе атмосферным воздухом и на втором этапе воздухом и с нанесением на поверхность банок водяной пленки.

5.8.3 Аппарат для интенсивной тепловой стерилизации плодоовощных консервов в жидких высокотемпературных теплоносителях с использованием вторичных тепловых ресурсов

Конструкция аппарата для интенсивной тепловой стерилизации с использованием принципа рекуперации тепловой энергии представлена на рисунке 5.10

Аппарат состоит из каркаса 1, на котором закреплены пять ванн, отделенных друг от друга теплоизолированными перегородками. Первая

ванна предназначена для охлаждения; вторая, третья и четвертая ванны предназначены одновременно для нагрева одних (поступающих по верхнему ряду) и охлаждения других, поступающих по нижнему ряду. Пятая ванна предназначена для нагрева консервов в высокотемпературном теплоносителе. Транспортирующим органом аппарата является две роликово-втулочные цепи 6, натянутые на звездочки 3, к которым шарнирно с определенным шагом закреплены направляющие 15 с носителями для банок 11 (на схеме показана только одна, а на разрезе А-А – две). Валы 14 закреплены в подшипниках качения 16, установленных на уголках 17, приваренных к внутренней стенке корпуса аппарата. Движение транспортирующему органу передается через приводную звездочку 13.

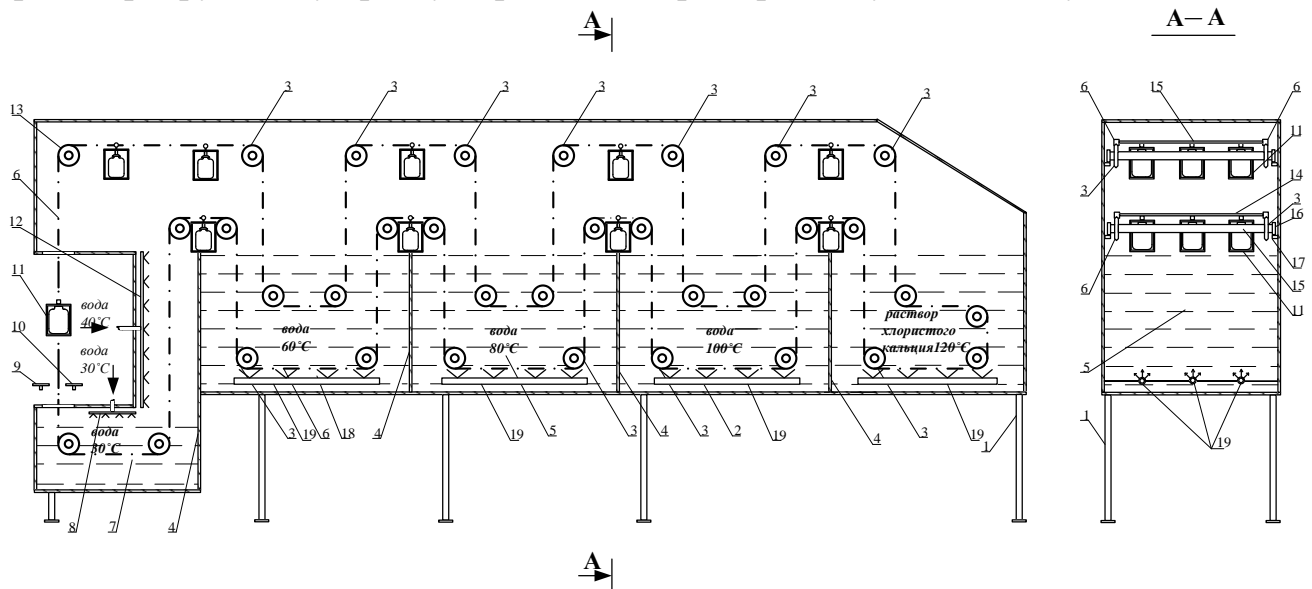


Рисунок 5.10 – Аппарат для интенсивной тепловой стерилизации плодоовощных консервов в жидких высокотемпературных теплоносителях с использованием вторичных тепловых ресурсов: 1 – станина; 2 – нагревательные элементы; 3 – звездочки; 4 – перегородки; 5, 18 – ванны для нагрева и охлаждения; 6 – роликово-втулочная цепь; 7 – ванна для охлаждения; 8, 12 – душевые устройства; 9 – подводящий транспортер для банок; 10 – отводящий транспортер банок; 11 – носители банок; 13 – приводная звездочка; 14 – валы; 15 – направляющие; 16 – подшипники; 17 – уголки

Работа аппарата осуществляется следующим образом. Транспортирующий орган 6 совершает поступательное прерывистое движение, постепенно передвигаясь вместе со стерилизуемыми банками в носителях в камере нагрева и далее в камере охлаждения. При этом, подача банок в носители 11 осуществляется в момент остановки транспортирующего органа. Банки, установленные в носители, обеспечивающие их механическую герметичность, последовательно проходят вторую, третью, четвертую и пятую ванны для последовательного нагрева. Причем во второй, третьей и четвертой ваннах одновременно осуществляется нагрев одних и охлаждение других одновременно. Пятая ванна с высокотемпературным теплоносителем предназначена только для нагрева, а первая ванна с водой температурой 40⁰С, предназначена для окончательного охлаждения.

Такое конструктивное решение, с перемещением охлаждаемых банок в нижнем ряду, а нагреваемых в верхнем способствует также естественной циркуляции теплоносителя в ваннах.

Расход тепла в аппарате имеет место только в пятой ванне для нагрева консервов от 90 - 93°C до 100°C, а также на компенсацию потерь в окружающую среду, а вода расходуется только в первой ванне для охлаждения консервов от 60-65°C до 40°C.

5.9 Пастеризаторы

Установка для пастеризации томатного сока А2-КПО (рис. 5.8) состоит из наполнителя 1 для банки I- 82-3000, эксгаустера 2, закаточной машины 3, переставителя 4, пастеризатора-охладителя 5 и выгрузочного транспортёра 6.

Эксгаустер представляет собой камеру нагрева с пластинчатым транспортером, с каждой стороны которого находится по шесть ламп инфракрасного излучения. Для концентрации излучения лампы располагаются в фокусе параболических отражателей на уровне незаполненного пространства баллона на расстоянии 11 мм от его горла.

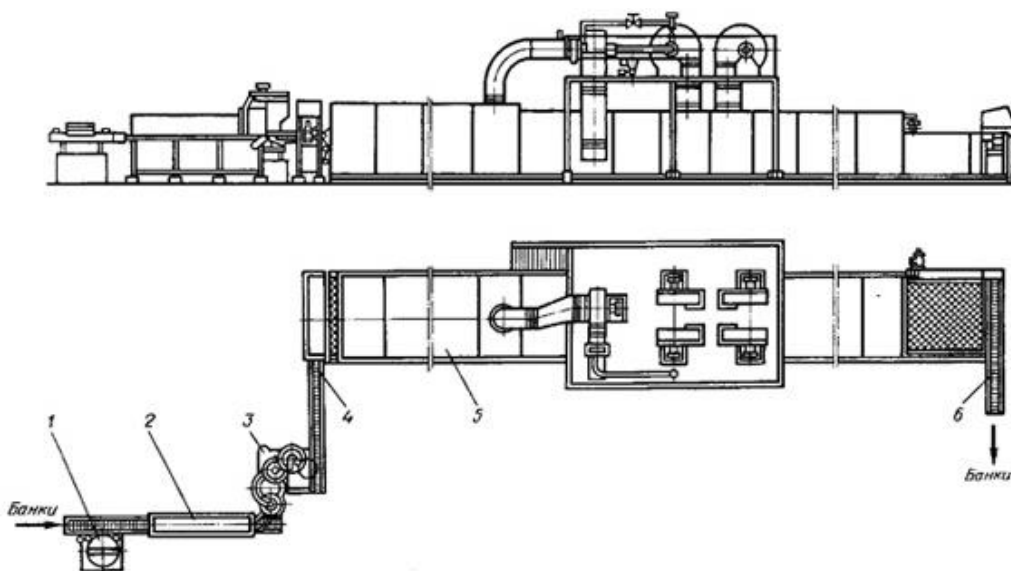


Рисунок 5.8 - Пастеризатор А2-КПО

Переставитель служит для перемещения банок с непрерывно движущегося транспортера на транспортную сетку пастеризатора-охладителя. Он состоит из транспортера, на котором банки устанавливаются с шагом 175 мм, четырех толкателей, подвешенных к двум ветвям цепи, и привода с однооборотной муфтой, за один оборот которой толкатель переставителя перемещает ряд банок на один шаг, в результате чего они заталкиваются на сетку пастеризатора-охладителя.

Транспортирующие органы пастеризатора-охладителя состоят из двух транспортеров: сетчатого для перемещения банок в пастеризаторе и пластинчатого для выгрузки их. В камере пастеризации банки обдуваются горячим воздухом.

Камера комбинированного охлаждения имеет два участка: охлаждения банок воздухом (при температуре 20...30°C) и охлаждения их водой (душирование).

Техническая характеристика установки А2-КПО: производительность не менее 4500 л/ч (25 банок в минуту); расход пара 178 кг/ч, воздуха для нагрева 20, для охлаждения 20 м³/ч; продолжительность душирования водой 10 мин; установленная мощность электродвигателей 36,5, ламп 10 кВт; габаритные размеры 26150x6110x3806 мм; масса 24500 кг.

Для пастеризации фруктовых и ягодных соков до их фасования широко применяют пластинчатые аппараты. Они различаются между собой по размерам рабочих пластин, форме аппаратов, способам перемещения нагреваемой жидкости, а также видам протекающих процессов.

Пластинчатые пастеризаторы компактны и имеют высокую производительность. Несмотря на многообразие конструктивных форм, принцип работы всех пластинчатых пастеризаторов одинаков.

В пластинчатых аппаратах осуществляются следующие процессы (все или часть из них) по ходу движения сока:

- частичное нагревание поступающего сока теплотой уходящего (пастеризованного) сока (секция регенерации);
- нагревание сока горячей водой или паром до заданной температуры (секция пастеризации);
- выдержка в течение определенного времени нагретого сока при температуре пастеризации (секция выдержки);
- охлаждение уходящего сока с передачей теплоты соку, поступающему на нагрев (секция регенерации);
- охлаждение сока холодной водой (секция охлаждения водой);
охлаждение сока рассолом (секция охлаждения рассолом).

В пластинчатой пастеризационной и охладительной установке ОПУ-5М продукт нагревается от 5 до 76°C, выдерживается при этой температуре 25 с и затем охлаждается до 5° С.

Аппарат имеет пять тепловых секций для регенерации теплоты, пастеризации продукта, его выдержки при постоянной температуре, охлаждения водой и рассолом. Каждая секция образована из пакетов, состоящих из нескольких пластин. Сок, поступающий в секцию, последовательно проходит через все пакеты, в каждом из них он движется одновременно и параллельно между всеми пластинами. Сок, подлежащий пастеризации, нагнетается насосом в секцию регенерации, где происходит предварительное нагревание его за счет охлаждения пропастеризованного (уходящего) сока. Благодаря этому экономия теплоты составляет 80% расхода ее на нагревание. Уменьшается также расход охлаждающей воды. Сок из этой секции последовательно проходит через секцию пастеризации, где нагревается до температуры пастеризации 76...96 °С, и через секцию выдержки. После частичного охлаждения в секции регенерации сок поступает в секции охлаждения водой и рассолом.

Габаритные размеры пастеризатора 2340x700x1475 мм.

Пластинчатый пастеризатор фирмы «Альфа-Лаваль» типа Р-11-ЕВ (рис. 5.9, а) имеет станину, на которой расположены гофрированные пластины и нажимная плита. При зажатии гаек усилие передается на нажимную плиту и пластины плотно сжимаются. Благодаря резиновым прокладкам обеспечиваются нужная герметичность соединения и определенное расстояние между двумя смежными пластинами, в результате чего образуются секции: пастеризации 1, выдержки 3, регенерации 5 и охлаждения 6 (рис. 5.9, б).

Секция регенерации 5 образована из пяти пакетов для нагреваемого и пяти пакетов для охлаждаемого сока. Каждый пакет имеет по две полости (всего 20 полостей, образованных 21 пластиной).

Секция пастеризации 1 имеет два пакета с двумя полостями каждый для сока и один пакет с четырьмя полостями для теплоносителя (всего 8 полостей из 9 пластин). Секция охлаждения 6 состоит из трех пакетов с двумя полостями каждый для сока и одного пакета с шестью полостями для холодной воды.

Вместимость камер выдержки сока 56 л; продолжительность выдержки около 100 с; производительность 0,62 м³/с сока при нагревании от 15 до 92°С; габаритные размеры 1980x1610x1555 мм.

Аппарат оборудован автоматическим терморегулятором, воздействующим на подачу теплоносителя в зависимости от температуры сока после секции пастеризации.

Расчет пластинчатого пастеризатора проводят следующим образом.

Определяют коэффициент регенерации

$$E = \frac{Q_p}{Q_{\text{общ}}} = \frac{Gc(t'_P - t_H)}{Gc(t_{\Pi} - t_H)} = \frac{(t'_P - t_H)}{(t_{\Pi} - t_H)} \quad (5.42)$$

где Q_p — количество теплоты, переданной в секцию регенерации; $Q_{\text{общ}}$ — общее количество теплоты, затраченной на подогрев сока от начальной температуры до температуры пастеризации; G — масса нагреваемого сока, кг/с; c — теплоемкость сока, Дж/(кг·К); t_H — начальная температура холодного сока, °С; t'_p — температура сока после подогрева в секции регенерации, °С; t_{II} — температура пастеризации сока, °С.

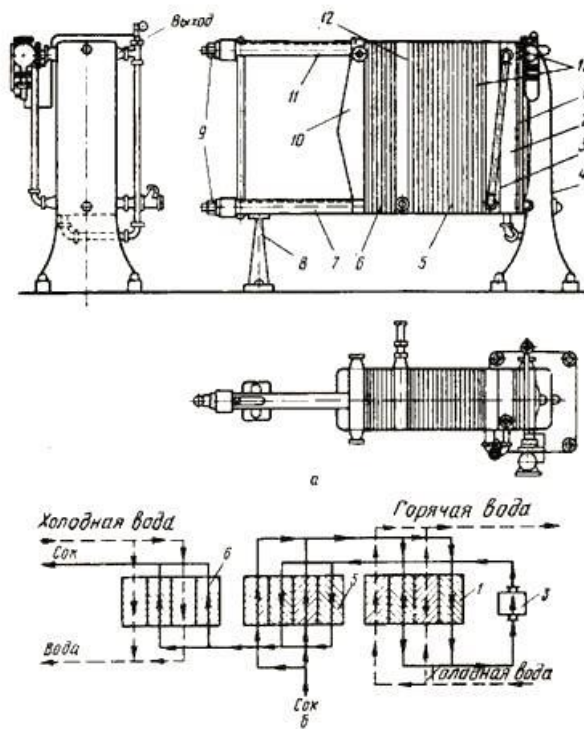


Рисунок 5.9 - Пластинчатый пастеризатор фирмы «Альфа-Лаваль»:
а — конструкция, *б* — схема движения сока, теплоносителя и охлаждающей воды;
 1 — секция пастеризации, 2 — камера выдержки сока; 3 — секция выдержки, 4, 8 — стойки станины, 5 — секция регенерации; 6 — секция охлаждения; 7, 11 — соединительные штанги; 9 — зажимные гайки; 10 — нажимная плита; 12 — промежуточная плита; 13 — пластины

Коэффициент регенерации противоточных пластинчатых пастеризаторов $E = 0,6 \dots 0,8$.

Общий расход теплоты на нагрев сока до температуры пастеризации (кВт)

$$Q_{\text{общ}} = Q_p + Q_{II}, \quad (5.43)$$

откуда

$$Q_{II} = Q_{\text{общ}} - Q_p, \quad (5.44)$$

где Q_{II} — расход теплоты на нагрев в секции пастеризации, кВт.

Так как

$$Q_p = E Q_{\text{общ}},$$

то

$$Q_{\Pi} = Q_{\text{общ}} - EQ_{\text{общ}} = Q_{\text{общ}}(1 - E),$$

или

$$Q_{\Pi} = (1 - E)Gc(t_{\Pi} - t_H),$$

$$Q_P = EGc(t_{\Pi} - t_H),$$

Площадь поверхности теплообмена секции регенерации либо производительность аппарата определяются из уравнения теплового баланса

$$F_P K_P \Delta t_P = Q_P = EGc(t_{\Pi} - t_H), \quad (5.45)$$

где F_P — площадь поверхности теплообмена, м²; K_P — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); Δt_P — разность между температурами нагревающего и охлаждающего сока, °С.

В секции регенерации в начале и конце движения сока разность температур на поверхности остается постоянной:

$$\Delta t_P = t_{\Pi} - t'_P,$$

Из формулы (5.17) находим, что

$$t'_P = t_H + E(t_{\Pi} - t_H),$$

тогда

$$\Delta t_P = t_{\Pi} - t_H - E(t_{\Pi} - t_H),$$

Площадь поверхности нагрева секции пастеризации либо производительность пастеризатора находят из уравнения теплового баланса

$$F_{\Pi} K_{\Pi} \Delta t_{\Pi} = Q_{\Pi} = (1 - E)Gc(t_{\Pi} - t_H),$$

или

$$F_{\Pi} K_{\Pi} \Delta t_{\Pi} = Gc(t_{\Pi} - t'_P), \quad (5.46)$$

где F_{Π} — площадь поверхности нагрева пастеризатора, м²; K_{Π} — коэффициент теплопередачи; $K_{\Pi} = 1280 \dots 2100$ Вт/(м²·К).

Средняя логарифмическая разность температур (°С)

$$\Delta t_P = \frac{(t_T^H - t_{\Pi}) - (t_T^K - t'_P)}{\ln \frac{t_T^H - t_{\Pi}}{t_T^K - t'_P}},$$

где t_T^H и t_T^K — начальная и конечная температура теплоносителя, °С.

Расход теплоносителя (горячей воды) в секции пастеризации (кг/с)

$$G_2 = \frac{Q_{\Pi}}{c(t_T^H - t_T^K)} = \frac{Gc(t_{\Pi} - t'_P)}{c(t_T^H - t_T^K)} \quad (5.47)$$

Площадь поверхности охлаждения в секции охлаждения (м²)

$$F_0 = Q_0 / K_0 \Delta t_0, \quad (5.48)$$

После пастеризации и выдержки сок охлаждается до конечной температуры t_K ; при этом количество теплоты, отданной охлаждающей воде в секции охлаждения (кВт),

$$Q_0 = Gc(t_{\Pi} - t_K) - Q_P = Gc(t_{\Pi} - t_K) - EGc(t_{\Pi} - t_H),$$

или

$$Q_0 = Gc[(t_{\Pi} - t_K) - E](t_{\Pi} - t_H), \quad (5.49)$$

Разность температур Δt_0 находят как среднюю логарифмическую; при этом температуру t''_P сока, поступающего в секцию охлаждения, находят из условия

$$t'_P - t_H = t_{\Pi} - t''_P,$$

откуда

$$t''_P = t_{\Pi} + t_H - t'_P,$$

(14.24)

Расход охлаждающей воды в секции охлаждения определяют из теплового баланса

$$Gc(t''_P - t_K) = G_x c_B (t_x^K - t_x^H), \quad (5.50)$$

где G — масса пастеризуемого сока, кг/с; c — удельная теплоемкость пастеризуемого сока, Дж/(кг·К); t''_P и t_K — температуры сока до секции охлаждения и после нее, °С; G_x — расход охлаждающей воды, кг/с; c_B — удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К); t_x^H и t_x^K — начальная и конечная температуры охлаждающей воды, °С.

Напор для преодоления гидравлических сопротивлений в пластинчатом пастеризаторе определяют по уравнению (2.19). Ф. М. Тарасов рекомендует принимать следующий коэффициент трения в каналах пластинчатых аппаратов: $\lambda = 90Re^{-0,42}$.

Согласно правилам техники безопасности каждый аппарат, работающий под давлением выше атмосферного, необходимо не реже одного раза в год подвергать гидравлическому испытанию. Резьба на зажимных болтах автоклавов должна быть исправной и не иметь вмятин, прокладка между

крышкой и корпусом — обеспечивать герметичность и не допускать проникновения пара или воды. Все резьбовые соединения труб и вентиля собираются не менее чем из 5...7 ниток резьбы.

У всех вентилях систематически проверяют плотность прилегания клапана к гнезду. Манометр проверяют ежемесячно, и его шкала должна иметь красную предельную черту. Предохранительный клапан после регулирования закрывают кожухом. Продувной краник устанавливают таким образом, чтобы его отверстие было направлено в сторону, противоположную рабочему месту. Для осмотра шахт автоклавов используют низковольтное освещение.



Рисунок 5.10 - Машина для стерилизации

стерилизации консервных банок и бутылок с напитками, фруктами, овощами; повторного нагрева банок с пивом и газированными напитками. Машина изготовлена из нержавеющей стали № 304. Основные технические характеристики: производительность: до 300 б/мин, температура стерилизации: до 98°C, зоны стерилизации 3-5, скорость выхода 150-800 мм/м, давление пара: -0.4 МПа, габаритные размеры мм: 1200 x 2300 x 2000.

Установка продолжительной стерилизации JSR-160. Данная установка изготовлена из нержавеющей стали № 304, поэтому она устойчива к окислению и не ржавеет. Бункер с водой подогревается паром, количество подаваемого пара регулируется автоматически с помощью электромагнитного клапана. Энергосберегающая установка, благодаря которой горячая вода используется без остатка. Основные технические характеристики: время стерилизации: 10-35 мин, температура стерилизации: до 98°C, давление пара - 0.4 МПа, скорость ременной цепи - 0.17-0.8 м/мин, мощность: 1.5 кВт, габаритные размеры мм: 1600x2300x2500, Масса, кг: 6000.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое режим стерилизации, как он характеризуется? Как рассчитать давление в банке при стерилизации? 2. Рассмотрите аппараты периодического действия (автоклавы) для стерилизации консервов. Опишите их устройство, принцип работы, отличительные особенности, преимущества и недостатки. 3. Дайте технологический и тепловой расчеты автоклава. 4. Каковы устройство, принцип работы, преимущества и недостатки барабанных стерилизаторов непрерывного действия? 5. Что представляют собой гидростатические и пневмогидростатические стерилизаторы непрерывного действия? Каковы их

устройство, принцип работы, отличительные особенности, преимущества и недостатки? 6. Дайте расчет производительности стерилизаторов непрерывного действия. 7. Опишите способы стерилизации продуктов непосредственным контактом с паром, токами высокой и сверхвысокой частоты и ионизирующим облучением. 8. Какие вы знаете новые способы и аппараты для стерилизации консервов? 9. Каковы устройство и принцип работы установки для пастеризации томатного сока? 10. Рассмотрите устройство, принцип работы и расчет пластинчатого пастеризатора.

ГЛАВА 6

6.1 Сушильные установки

Сушка пищевых продуктов — один из методов их консервирования, так как жизнедеятельность микроорганизмов практически прекращается при содержании влаги в овощах менее 12...14%, в плодах 15...25, в мясе и рыбе 12...14%). В ряде случаев пищевые продукты сушат для улучшения условий их переработки, например сушка солода и рыбных отходов перед их измельчением.

В зависимости от свойств высушиваемых продуктов и условий техно-логического процесса применяют различные способы сушки, обеспечивающие высокое качество готового продукта, сохранение его пищевой ценности и рациональное ведение процесса.

При сушке на удаление 1 кг влаги затрачивается большое количество тепловой или электрической энергии, поэтому, где это возможно, целесообразно удалять влагу до сушки прессованием, выпариванием, центрифугированием или фильтрацией.

В пищевой промышленности применяют следующие типы сушилок, различающихся по признакам: режиму работы — периодического и непрерывного действия; способу подвода теплоты — кондуктивные, конвективные, радиационные и высокочастотные; давлению в сушильной камере — атмосферные, вакуумные; конструкции — ленточные, распылительные, камерные.

6.2 Паровые ленточные сушилки

Паровые ленточные сушилки непрерывного действия изготавливают с четырьмя (КСА-80, ПКС-40) и пятью (ПКС -90) лентами.

Паровая четырехленточная сушилка КСА-80 (рис. 6.1) предназначена для сушки овощей и фруктов. Она состоит из четырех транспортеров 1, 2, 4 и 10, расположенных один над другим. Каждый транспортер имеет индивидуальный привод, благодаря чему на каждой ленте можно изменять скорость перемещения продукта. Транспортеры с приводом смонтированы на стальном каркасе 15 из двутавровых балок. Снаружи сушилка закрыта тонкими листами 16.

Для перемешивания высушиваемого продукта над лентами транспортеров установлены ворошители 17. Над верхней частью сушилки расположен деревянный колпак 9, имеющий форму усеченной пирамиды и заканчивающийся вверху вытяжной трубой 8.

Верхняя лента транспортера загружается при помощи наклонного скребкового элеватора 3. Количество воздуха, поступающего в сушилку путем естественной тяги, регулируется заслонками 5 при помощи троса 6 и блоков 7. Сетчатые ленты транспортеров изготовлены из нержавеющей про-волоки диаметром 1,2 мм, переплетенной тросиками. Ширина ленты 2000 мм, длина 9600 мм, живое сечение для прохода воздуха 56,5%.

Между рабочей и холостой частями ленты транспортеров расположены паровые калориферы — воздухоподогреватели 11, 12, 13 и 14, изготовленные из стальных труб с навитыми на них спиральными ребрами (см. далее рис. 6.3). Воздухоподогреватель каждого транспортера состоит из трех секций, имеющих по 18 ребристых труб, включенных последовательно. Площадь поверхности нагрева воздухоподогревателя 11 составляет 194...260 м², воздухоподогревателей 12, 13 и 14 -170... 176 м². Давление пара, который подводится к воздухоподогревателю 11, равно 0,8... 1,0 МПа, к воздухоподогревателям 12, 13 и 14 — 0,6...0,7 МПа.

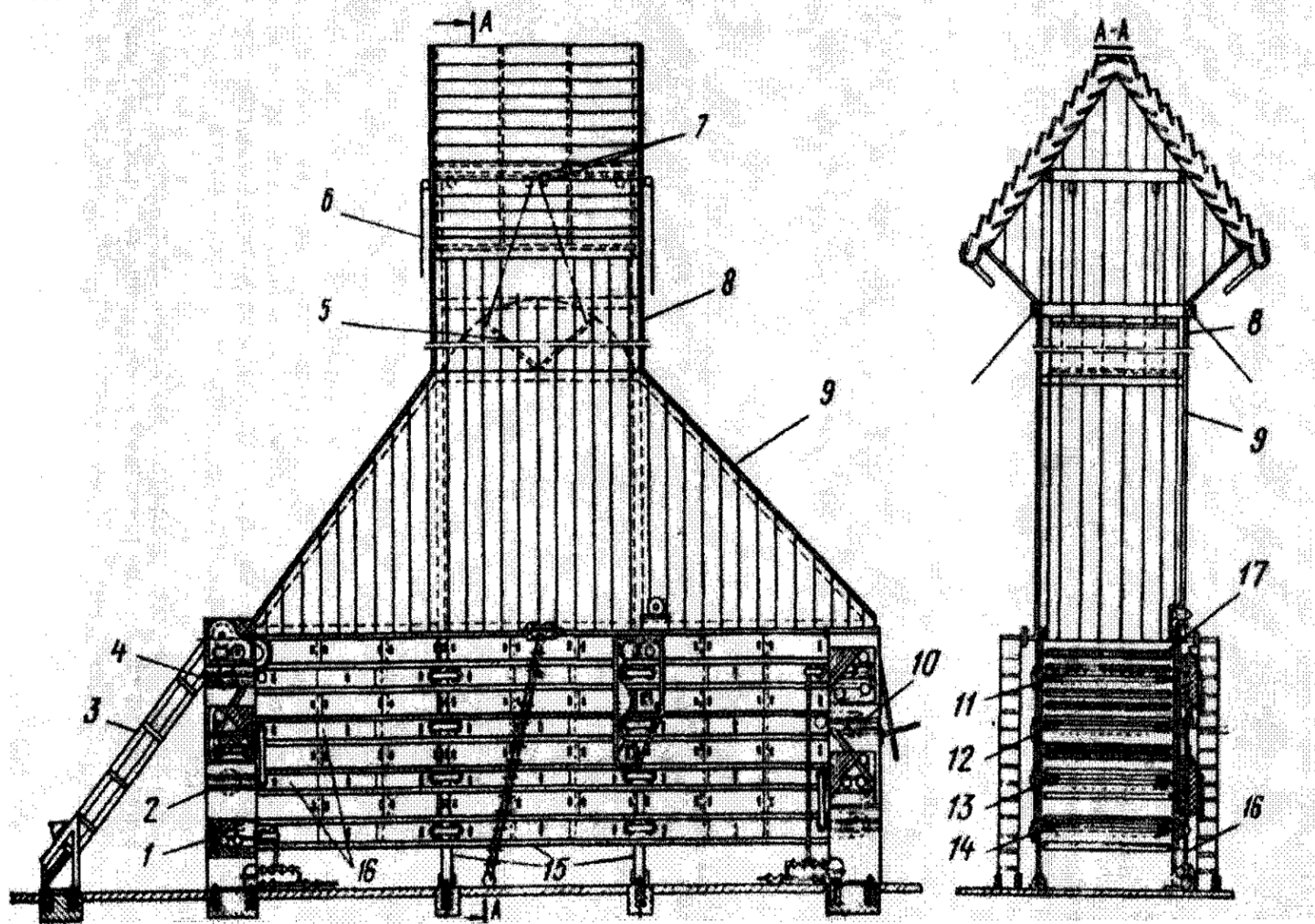
Поступающее на транспортер 4 сырье проходит под ворошителем, регулирующим толщину слоя от 3 до 4 см, и движется к противоположному концу транспортера. При этом нагрузка на первой ленте 20...30 кг/м сырья. Затем высушиваемый продукт ссыпается на ленту транспортера 10, движется в обратном направлении и т. д. Высушенный продукт ссыпается с ленты транспортера в приемники. Воздух поступает через нижнюю открытую часть сушилки и движется снизу вверх благодаря естественной тяге, последовательно проходя через воздухоподогреватели всех четырех лент транспортера, со скоростью 0,25...0,5 м/с.

При сушке овощей рекомендуется поддерживать температуру воздуха после воздухоподогревателей (под лентой) 65...80°С, кроме самой нижней ленты, где после воздухоподогревателя температура воздуха устанавливается 50...55°С. Температура воздуха после прохождения через слой продукта должна быть над лентами не ниже 45° С, над средними лентами не выше 60 и над нижней лентой 50° С. Влажность воздуха, уходящего из сушилки, должна быть 55...60%, но не выше 70%.

Воздух нагревается подогревателем, омывает продукт, лежащий на ленте транспортера 1, и поглощает из него часть влаги. Температура воздуха при этом снижается. Затем воздух вторично нагревается воздухоподогревателем 13, омывает продукт на ленте транспортера 2, при этом влагосодержание его повышается. Этот процесс повторяется при дальнейшем перемещении воздуха через ленты транспортеров 10 и 4. Влажный воздух удаляется через колпак в вытяжную трубу.

Режим сушки регулируют путем изменения общей производительности сушилки, перераспределения общей продолжительности сушки между отдельными лентами, увеличения или уменьшения количества воздуха, поступающего в сушилку, изменения толщины слоя сырья на первой ленте и температуры воздуха над лентами.

Режим сушки изменяют при повышенной или пониженной влажности высушенного продукта, наличии крупных слипшихся комков сырья, пониженной или повышенной влажности воздуха над первой лентой, повышенной влажности воздуха, поступающего в сушилку.



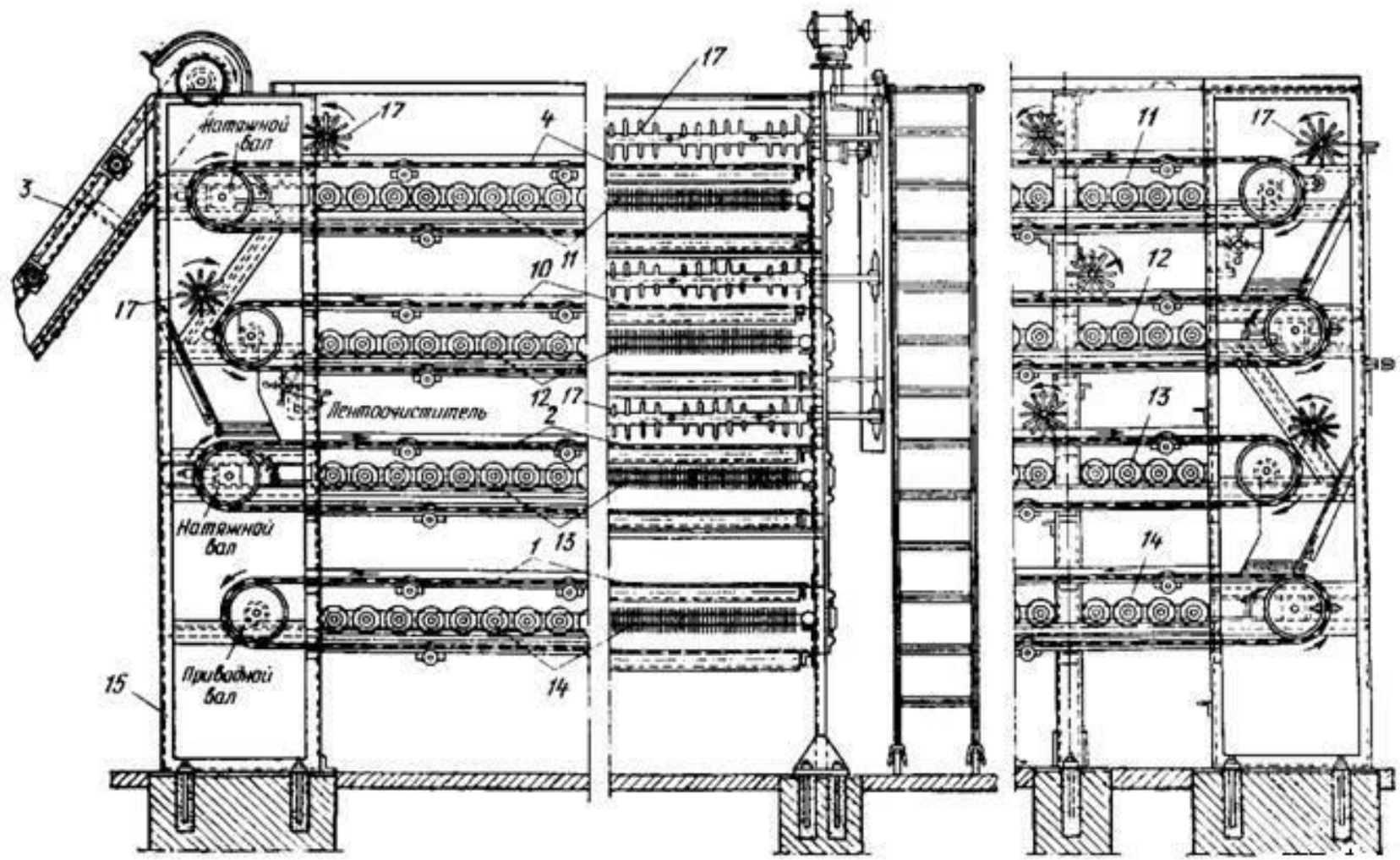


Рисунок 6.1 - Паровая четырехленточная сушилка КСА-80

Производительность сушилки около 0,14 кг/с испаренной влаги или 0,046...0,064 кг/с сухого картофеля с начальной влажностью 75...80% к общей массе.

Достоинства ленточной сушилки по сравнению с сушилками других конструкций:

- непрерывность загрузки, сушки и выгрузки продукта;
- более низкие начальные температуры воздуха благодаря промежуточному подогреву его;
- меньший расход топлива благодаря высокой конечной относительной влажности воздуха;
- меньшая продолжительность сушки вследствие перемешивания продукта на ленте и ссыпания его с ленты на ленту;
- более равномерное высушивание продукта благодаря перемешиванию его и движению воздуха в поперечном направлении;
- возможность регулировать параметры воздуха и скорость движения продукта;
- сравнительно высокая производительность, отнесенная к 1 м² площади цеха;
- лучшие условия труда обслуживающего персонала.

Недостатки сушилки: неудобство обслуживания из-за того, что загрузка аппарата сырьем и выход готового продукта осуществляются с одной стороны; потеря большого количества теплоты в окружающую среду, так как стены сушилки металлические и не изолированы; отсутствие искусственной вентиляции, из-за чего сушка зависит от метеорологических условий.

На заводах, где используют пар давлением 0,3...0,4 МПа, необходимо установить пароперегреватель и в воздухоподогреватель подавать перегретый пар температурой 180...185 °С. Коэффициент теплопередачи при этом уменьшается незначительно, так как наибольшее термическое сопротивление от стенки к нагретому воздуху в этой сушилке практически не изменяется.

Чтобы сушилка работала в наивыгоднейшем режиме, надо точно регулировать подачу сырья, воздуха и пара соответствующих параметров. Для создания наилучшего режима работы и использования ее полной мощности необходимо регулировать количество сырья и пара на каждом ярусе сушилки.

Паровая конвейерная сушилка ПКС-90 имеет сварной металлический корпус, внутри которого один над другим расположены пять ленточных транспортеров.

Продукт, загружаемый транспортером на верхнюю ленту, последовательно перемещается с одной ленты на другую сверху вниз и выходит с нижней ленты со стороны, противоположной месту загрузки продукта в сушилку. Для подогрева воздуха между лентами транспортеров установлены подогреватели, каждый из которых имеет собственный подвод пара и отвод конденсата. Воздух поступает под нижнюю ленту, а затем последовательно проходит через подогреватели и все расположенные выше ленты. Влажный воздух удаляется через аспирационные камеры.

Достоинства сушилки ПКС-90: удобство выгрузки сухого продукта, а также возможность изменять режим сушки в зависимости от условий работы. Недостатки сушилки: естественная циркуляция воздуха и наличие нескольких вытяжных труб. Нормальная работа сушилки будет обеспечена тогда, когда весь воздух проходит через все ленты конвейеров последовательно. Поэтому необходимо обращать особое внимание на неплотности в боковых и торцевых ограждениях.

Техническая характеристика сушилки ПКС-90: производительность по сухому картофелю 0,046 кг/с; площадь рабочей поверхности лент 90 м; ширина ленты 2000 мм; общая площадь поверхности воздухоподогревателей 1465 м²; давление пара в воздухоподогревателях 0,3...0,8 МПа; мощность электродвигателей (четырёх) 6,1 кВт; габаритные размеры 11500x2350x3105 мм; масса 10100 кг.

Расчет ленточной сушилки проводят при помощи *I-d* - диаграммы. Зная параметры (температуру и относительную влажность) наружного воздуха и приняв температуру воздуха под лентой (после воздухоподогревателя) и над лентой (после прохождения воздуха через слой продукта) в пределах заданных температур, строят *I-d* -диаграмму теоретического процесса сушки (рис. 6.2), а затем и действительного.

Из диаграммы устанавливают влагосодержание и энтальпию воздуха в каждой зоне до воздухоподогревателя, после него и после прохождения воздуха через продукт. Имея эти данные, можно рассчитывать расход пара и воздуха, а также площадь поверхности нагрева, если заданы производительность сушилки, начальная и конечная влажности продукта; если известен расход воздуха (производительность вентилятора) или площадь поверхности нагрева воздухоподогревателей в каждой зоне, можно рассчитать производительность сушилки и расход пара.

Количество влаги, удаляемой из продукта при сушке (кг/с)

$$W = G_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2} = G_2 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_1} = G_1 - G_2, \quad (6.1)$$

где G_1 — масса влажного продукта, поступающего в сушилку за 1 с, кг; G_2 — масса высушенного продукта, выходящего из сушилки за 1 с, кг; ω_1 и ω_2 — начальная и конечная влажности продукта, %.

Масса высушенного продукта (кг/с)

$$G_2 = G_1 \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} = G_1 - W, \quad (6.2)$$

Расход воздуха на сушку, или производительность сушилки по выпаренной влаге (кг/с),

$$L = Wl, \quad (6.3)$$

где l — расход воздуха на испарение 1 кг

$$l = \frac{1}{x_2 - x_1} = \frac{1000}{d_2 - d_1} \quad (6.4)$$

$x_0 = x_1$ и x_2 — начальное и конечное влагосодержание воздуха, кг влаги на 1 кг сухого воздуха; d_1 и d_2 — начальное и конечное влагосодержание воздуха, г/кг; d_1 и d_2 определяют по $I-d$ - диаграмме.

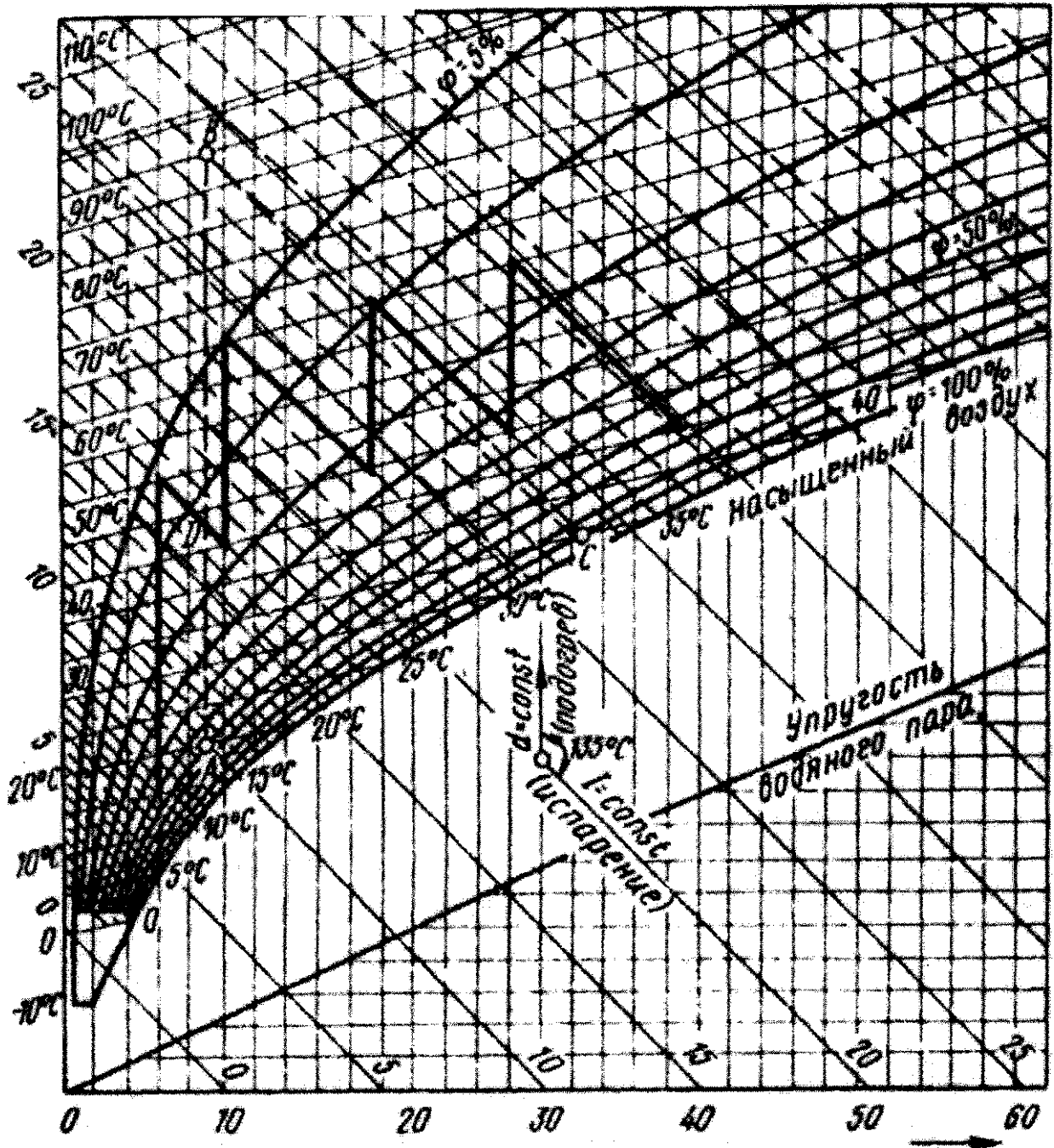


Рисунок 6.2 - $I-d$ - диаграмма процесса сушки в четырехленточной сушилке

Объем расходуемого воздуха (м³/с)

$$W_{\text{возд}} = LV_{\text{уд}} \frac{R(273+t_0)}{(0,1+\varphi_0 p_0)10^6}, \quad (6.5)$$

где $V_{уд}$ — удельный объем воздуха, м³/кг; R — газовая постоянная; t_0 — температура наружного воздуха, °С; φ_0 — относительная влажность наружного воздуха, %; p_0 — давление насыщенных паров при t_0 , Па.

По объему расходуемого воздуха и величине необходимого напора подбирают вентилятор. Если сушилка работает в зимнее и летнее время года, то расход воздуха рассчитывают на летние условия и вентилятор подбирают также на эти условия.

Расход теплоты в воздухоподогревателе (Вт)

$$Q_K = Wq_K, \quad (6.6)$$

где q_K — расход теплоты, отнесенный к 1 кг выпаренной влаги, Дж/кг.

$$q_K = l(I_1 - I_0) = \frac{l_1 - l_0}{x_2 - x_0} \quad (6.7)$$

где I_0 и I_1 — энтальпии влажного воздуха до калорифера и после него (находят по $I-d$ –диаграмме).

По расходу теплоты в воздухоподогревателе находят площадь поверхности нагрева (м²)

$$F = Q_K / (\Delta t K), \quad (6.8)$$

а также расход пара (кг/с)

$$F = Q_K / (i - i_K), \quad (6.9)$$

где Δt — средняя логарифмическая разность температур, °С; K — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²К); i и i_K — удельные энтальпии греющего пара и конденсата, Дж/кг.

Для воздухоподогревателей, образованных из труб с навитыми на них спиральными ребрами,

$$K = 10,23v^{0,48}, \quad (6.10)$$

где v — скорость движения воздуха, м/с.

6.3 Распылительные сушилки

Для сушки полужидких продуктов, таких, как томатная масса и концентрированные фруктовые соки, применяют распылительные сушилки. При распылении продукта на мелкие частицы значительно увеличивается поверхность соприкосновения продукта с горячим воздухом и процесс происходит в течение 5...30 с. Получаемый после сушки порошок, состоящий из мелких твердых частиц, сохраняет первоначальные качества продукта. Для распыления продукта используют механические форсунки, в которые продукт подводится под большим давлением, пневматические форсунки, где распыление достигается струей воздуха, и центробежные диски.

На консервных заводах с помощью центробежных дисков распыляют вязкие, грубодисперсные суспензии и пасты. Диски надежны в эксплуатации, не засоряются, обеспечивают равномерное распыление даже при уменьшении их производительности до 25%. Центробежные диски характеризуются разнообразием конструкций.

Распылительная сушилка (рис. 6.3) швейцарской фирмы «Лува» имеет цельнометаллическую башню цилиндрической формы с коническим днищем (диаметр башни 5,4 м, высота цилиндрической части 3,8 м, общий объем 100 м³). Внутри башни установлено распылительное устройство, представляющее собой центробежный распылительный диск 10, укрепленный на валу электродвигателя 11. Диск вращается со скоростью 144 м/с (650 рад/с).

По конусному днищу башни движутся скребки 9. Сушилка оборудована паровыми подогревателями 12, в которых воздух нагревается до 150°C паром давлением 0,8 МПа. Для отделения частиц продукта от воздуха, выходящего из сушилки, установлены четыре циклона 5. Воздух после циклонов перемещается главным вентилятором 4.

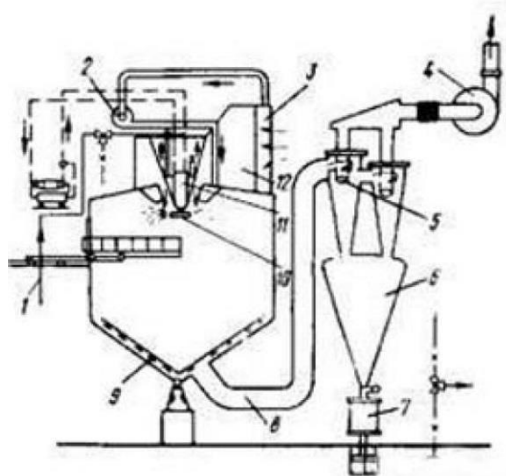


Рисунок 6.3 - Распылительная сушилка фирмы "Лува"

Продукт коловратным шестеренчатым насосом подается по трубе 1 на распылительный диск 10, под действием центробежной силы выходит с большой скоростью из отверстий диска и распыляется в башне. Наружный воздух, пройдя через масляные фильтры 3, очищается от пыли и в подогревателях нагревается примерно до 140...150°C. Горячий воздух поступает в башню над вращающимся диском через кольцевое отверстие и благодаря имеющимся там специальным направляющим движется в башне по спирали. Частицы продукта, соприкасаясь с горячим воздухом, высушиваются, часть из них падает на дно башни и оттуда скребками сгребается в трубу 8. По этой же трубе движется и воздух из башни, унося с собой высушенный продукт в циклоны. Температура уходящего воздуха достигает 80°C. Пройдя через циклоны, воздух, очищенный от частиц продукта, выбрасывается наружу. Высушенный продукт температурой около 50 °C собирается в разгрузочных бункерах 6, откуда удаляется специальным устройством 7.

Распылительное устройство, расположенное в башне, охлаждается воздухом, подаваемым вентилятором 2. Если температура электродвигателя 11 превышает 125°C, он и насос, подающий продукт на сушку, автоматически выключаются. В некоторых случаях сушильную установку оборудуют вакуум-аппаратами для предварительного концентрирования продукта.

При сушке овощных порошков лучшие результаты получают при работе сушилки, когда температура уходящего воздуха при сушке томатов 77...80°C,

кабачков 74...77, шпината и зеленого горошка 70...75°C. Исследованиями установлено, что овощные порошки при сушке частично осаждаются на стенках сушильной камеры. При длительном воздействии высокой температуры качество прилипшего порошка резко снижается. На стенки камеры оседает 27...34% томатного порошка, 9...15% порошка зеленого горошка и 24...26% порошка кабачков. Это происходит потому, что, двигаясь под действием центробежной силы, частицы продукта не успевают высохнуть и с еще большей влажностью доходят до стенки камеры, соприкасаются с ней и прилипают. Во избежание прилипания частиц нужно изменить распределение горячего воздуха, поступающего в сушилку, и увеличить степень дисперсности продукта. Существенным недостатком данной сушилки является и то, что с уходящим воздухом уносится 9...10% порошка.

Распылительная сушилка типа ZTR-300 (Германия) представляет собой башню (диаметр и высота равны 4,5 м), изготовленную из оцинкованных стальных листов, защищенных снаружи теплоизоляцией (толщина 30 мм); сверху башня покрыта листами железа толщиной 1 мм. Распылительный диск, расположенный внутри башни, установлен на вертикальном валу и приводится во вращение паровой турбиной с частотой 800 рад/с. Турбина работает на паре давлением 0,7 МПа на входе и 0,12 МПа на выходе; развиваемая ею мощность составляет 8,36 кВт, расход пара около 41,5 кг на 1 кВт·ч.

В башне над горизонтальным днищем движутся два скребка с откидными лопастями, приводимые во вращение электродвигателем мощностью 1,5 кВт. С помощью редуктора можно изменять частоту вращения скребков. Сушилка имеет два паровых трехступенчатых воздухоподогревателя, к которым в первую ступень подводится пар давлением 0,8 МПа, во вторую — отработавший пар из турбины давлением 0,12 МПа; в третью — конденсат из подогревателя первой ступени.

Для фильтрации воздуха, содержащего частицы продукта, применены шерстяные рукавные фильтры, заключенные в восемь камер. Сухие частицы продукта скребками сгребаются в шнек через отверстия в днище башни. Шнек подает их на охлаждение, просеивание и затем на фасование в тару. Для очистки наружного воздуха от пыли установлено 20 сопловых масляных фильтров.

Нагретый до 140°C воздух поступает в нижнюю часть башни под распылительный диск и движется противотоком по отношению к продукту. В зоне распыления температура воздуха примерно 95... 105°C, после рукавных фильтров она снижается до 60 °C.

Производительность сушильной установки 0,083 кг/с испаренной влаги.

Расчет распылительной сушилки проводят следующим образом.

Определяют скорость витания частиц продукта. При этом учитывают, что частицы, отрываясь от вращающегося распылительного диска, движутся вначале с большой скоростью. Однако очень быстро скорость движения снижается из-за сопротивления газовой среды. Когда сила тяжести частицы становится равной силе сопротивления среды, частица движется с постоянной скоростью витания.

При значении $Re < l$ скорость витания частиц (м/с)

$$V_{\text{вит}} = [d^2(p_p - p_r)g]/(18\mu), \quad (6.11)$$

где d — диаметр частицы, м; p_p и p_r — плотности раствора и газа, кг/м³; g — ускорение свободного падения тела, м/с²; μ — коэффициент динамической вязкости газа, Па·с.

По формуле М. И. Лурье диаметр частиц (м)

$$d = 1/(\omega\sqrt{\sigma/(Rp_p)}) \quad (6.12)$$

где ω — угловая скорость вращения диска, рад/с; σ — поверхностное натяжение продукта, Н/м; R — радиус диска, м.

Время, необходимое для удаления влаги из частиц продукта, т. е. продолжительность сушки, зависит от поверхности распыленных частиц, количества продукта, подаваемого в сушильную камеру в единицу времени, и интенсивности теплообмена между воздухом и частицами продукта.

Г. К. Филоненко и П. Д. Лебедев рекомендуют определять продолжительность сушки (с) по уравнению

$$z = 0,167Qp_p d_1/(G_1 \alpha \Delta t), \quad (6.13)$$

где Q — количество теплоты, передаваемой продукту воздухом, Вт; p_p — плотность продукта, кг/м³; d_1 — диаметр частицы, м; G_1 — масса продукта, загружаемого в сушилку, кг/с; α — коэффициент теплоотдачи от воздуха к поверхности частицы, Вт/(м²·К) (определяется через критерий Nu).

По формулам Л. И. Кудряшева

$$\text{при } 0 < Re < 100 \quad Nu = 2 + 0,33Re^{0,5}, \quad (6.14)$$

$$\text{при } 100 < Re < 300 \quad Nu = 0,56Re^{0,5}. \quad (6.15)$$

Средняя разность между температурами воздуха и продукта (°С)

$$\Delta t = (t_1 - t_2)/[\ln(t_1 - t_m)(t_2 - t_m)], \quad (6.16)$$

где t_1 и t_2 — начальная и конечная температуры воздуха, °С; t_m — средняя температура мокрого термометра, °С.

Количество теплоты, передаваемой от воздуха к продукту (Вт),

$$Q = Wr + G_1 c_1 (t_2 - t_1), \quad (6.17)$$

где W — количество испаренной влаги, кг/с; r — теплота испарения влаги, Дж/кг; c_1 — удельная теплоемкость продукта, Дж/(кг·К); t_1 и t_2 — начальная и конечная температуры продукта, °С.

Определенная таким образом продолжительность сушки несколько отличается от действительной, так как в процессе сушки изменяются диаметр частиц, плотность и температура частиц, их скорость и коэффициент теплоотдачи.

Производительность распылительной сушилки (или ее размеры) может быть найдена по напряжению единицы объема сушильной камеры, выраженному в килограммах испаренной влаги, приходящихся на 1 м³ объема камеры, за 1 с:

$$A = \Delta t_{cp} \alpha_v v / r, \quad (6.18)$$

где Δt_{cp} — средняя разность между температурами воздуха и продукта, °С; α_v — объемный коэффициент теплообмена, Вт/(м³·К);

$$\alpha_v = \alpha F_K / V_K, \quad (6.19)$$

α — коэффициент теплообмена между воздухом и продуктом, Вт/(м²·К); F_K — общая площадь поверхности частиц в конце сушки, м²;

$$F_K = G_2 \pi d^2 / [(1/16) \pi d^3 \rho_2] = 6 G_2 (\rho_2 d), \quad (6.20)$$

G_2 и ρ_2 — масса (кг) и плотность (кг/м³) высушенного продукта; d — диаметр частиц, м; V_K — объем сушильной камеры, м³.

Рекомендуется величину A принимать в зависимости от начальной температуры газов:

$t_1, ^\circ\text{C}$	120	130	140	150
$A, \text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$	0,67	0,78	0,9	1,0

Если известен объем сушильной камеры V_K , то производительность сушилки (кг/с испаренной влаги)

$$W = V_K A. \quad (6.21)$$

По этой формуле при заданной производительности определяют также объем сушильной камеры. Принимая, что отношение высоты камеры к ее диаметру $H: D = 1,0 \dots 1,25$, находят основные размеры.

6.4 Установка для сушки сублимацией

Сушка сублимацией протекает при низких температурах и глубоком вакууме. При этом большая часть влаги испаряется из продукта, находящегося в замороженном состоянии, без плавления кристаллов льда. В продукте, высушенном сублимацией, сохраняются объем и структура ткани, а также первоначальные свойства, в том числе цвет, вкус и запах. Однако этот способ из-за дороговизны еще не нашел широкого применения. Сушка сублимацией происходит по принципу углубления зоны испарения. Вначале влага испаряется с поверхности материала, а затем зона испарения постепенно перемещается внутрь него. Среднее влагосодержание уменьшается за счет удаления влаги с поверхности слоев.

При сушке сублимацией наблюдаются три периода:

первый — период охлаждения и самозамораживания; температура продукта, находящегося в условиях среднего или глубокого вакуума (остаточное давление 26,7...267 Па), снижается до $-5...-15^{\circ}\text{C}$ благодаря отводу теплоты на испарение влаги; в этот период скорость сушки уменьшается (участок 1—2 на рис. 6.4,а);

второй — период сушки сублимацией; температура продукта почти не изменяется (рис. 6.4,б), а замороженная влага сублимируется и удаляется из продукта; при этом скорость сушки постоянная (участок 2—3 на рис. 6.4,а); в этот период для испарения влаги необходимо подводить тепловую энергию в виде лучистого потока путем теплопроводности от греющих плит и конвективного теплообмена между паровоздушной смесью и материалом;

третий — тепловая сушка; испаряется часть абсорбционно связанной влаги, оставшейся в жидком состоянии даже при очень низких температурах; испарение протекает, как обычная тепловая сушка под вакуумом, при этом температура продукта быстро повышается, а скорость сушки падает (участок 3—4 на рис. 6.4,а).

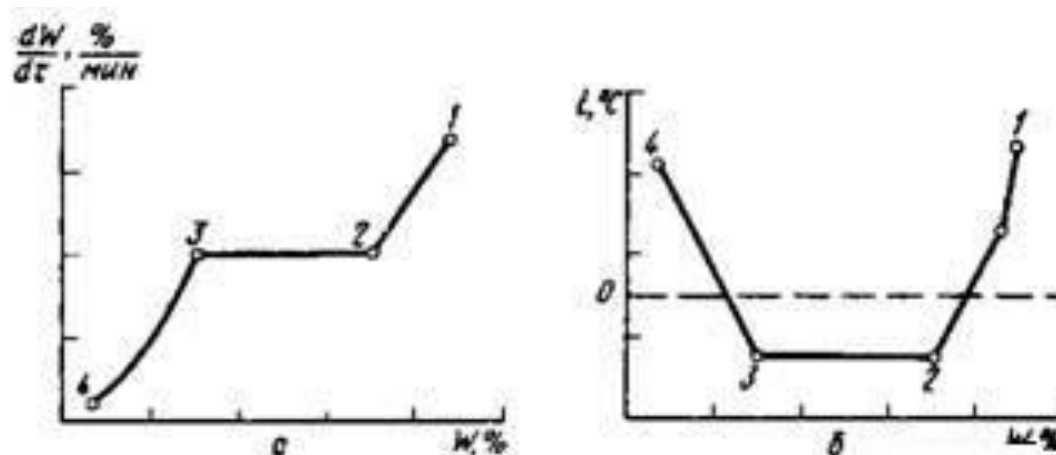


Рисунок 6.4 - Кривые сушки сублимацией:

а – изменение скорости сушки; б – изменение температуры продукта

При сушке сублимацией основное количество влаги, составляющее 75...85%, удаляется из продукта в замороженном состоянии во второй период; при самозамораживании испаряется 5...20% и при тепловой сушке 5...15% влаги.

Продолжительность сушки сублимацией все же очень велика и для фруктов и овощей колеблется от 15 до 26 ч. При этом период тепловой сушки, когда температура продукта повышается до $49...60^{\circ}\text{C}$, составляет 25...45% всего времени сушки

Установка для сушки пищевых продуктов сублимацией (рис. 6.5) состоит из сушильной камеры 1, конденсатора 2, форвакуумного насоса 3, холодильного компрессора 4 (со вспомогательным оборудованием), а также оборудования для подготовки горячей воды и подачи ее в плиты камеры.

Сушильную камеру (сублиматор) изготавливают из стальных листов. Она имеет прямоугольную или цилиндрическую форму, удобную для загрузки и выгрузки продукта, а также для наблюдения. В сублиматоре имеются полки, на которые укладывают противни с продуктом. Если теплоносителем являются горячая вода или пар, то полки выполняют полыми и пропускают теплоноситель через полости всех полок. Если в качестве теплоносителя применяют электрический ток, то полки делают сплошными, а вдоль стенок сублиматора устанавливают нагреватели (например, лампы накаливания или электроспирали).

Более равномерное нагревание продукта достигается при обогреве плит паром под вакуумом либо при использовании радиационного подогрева или токов высокой частоты.

Сублиматор соединен с трубчатым или скребковым конденсатором, в котором происходят конденсация и льдообразование паров влаги. В качестве охлаждающего агента в конденсаторе применяют рассол, предварительно охлажденный до $-20...-25^{\circ}\text{C}$, либо аммиак, имеющий такую же температуру.

Для нормального протекания процесса температура стенок конденсатора должна быть ниже температуры продукта на $20...30^{\circ}\text{C}$ при достаточно развитой поверхности охлаждения. Лед из паров продукта, образующийся на поверхности охлаждения конденсатора, удаляется скребками или путем оттаивания (в последнем случае требуется не менее двух конденсаторов).

Форвакуумные насосы предназначены для удаления воздуха из всей системы и создания необходимого вакуума в начале процесса. При установившемся режиме они отсасывают воздух (газы), выделяющийся из продукта, абсорбированного на стенках, а также воздух, проникающий в систему извне. В целях сокращения времени образования первичного вакуума и экономии энергии обычно монтируют два форвакуумных насоса: один большой мощности, создающий первоначальный вакуум в системе, и второй меньшей мощности для откачивания воздуха во время работы сублиматора.

Производительность форвакуумных насосов должна обеспечивать создание в системе остаточного давления $66,7\text{ Па}$. Для этой цели применяют ротационные масляные форвакуумные насосы ВН-4.

При помощи холодильных компрессоров получают низкие температуры в конденсаторах. Производительность компрессоров зависит от количества теплоты, отбираемой от конденсируемой влаги в конденсаторах.

Сушильная установка снабжена контрольно-измерительными приборами, показывающими остаточное давление в камере, температуры продукта и поверхности трубок конденсатора.

Для создания и поддержания вакуума в сублиматорах могут быть применены многоступенчатые (двух-, трех- и четырехступенчатые) паровые эжекторные вакуум-насосы.

С целью экономии расхода пара перед основным конденсатором параллельно ему устанавливают два или три многоступенчатых эжектора,

работающих одновременно только в начале сушки, когда необходимо удалять большое количество паров. Затем вспомогательные эжекторы выключают, действует только один главный эжектор. Неконденсируемые газы удаляют из конденсатора трехступенчатым пароструйным эжектором.

Паровые эжекторные вакуум-насосы по сравнению с холодильными установками и механическими вакуум-насосами имеют следующие преимущества: меньшую стоимость оборудования и обслуживания; меньший расход электроэнергии. Однако расход пара при этом составляет 10 кг на 1 кг испаряемой влаги, а расход охлаждающей воды в конденсаторе очень высок.

При сушке продукт на противнях помещается в сушильную камеру, в которой затем создается вакуум (остаточное давление 133,3...266,6 Па). При таком вакууме влага из продукта испаряется при $-10...-15^{\circ}\text{C}$.

В полые плиты сублиматора непрерывно подводится горячая вода температурой около 40°C . Интенсивность испарения повышается в двух случаях: при увеличении количества теплоты, подводимой к продукту; при повышении скорости удаления образовавшихся паров. Последняя зависит от разности между давлениями пара у поверхностей материала и конденсатора. Причем давление в конденсаторе должно быть вдвое меньше, чем в сублиматоре.

По окончании сушки систему выключают и продукт выгружают из сублиматора. При работе сушилки под глубоким вакуумом не следует допускать засасывания даже минимального количества воздуха.

Проектируя сушилки, необходимо до минимума сокращать длину трубопроводов и располагать сублиматоры как можно ближе к конденсатору-вымораживателю. Чтобы уменьшить путь паров, конденсационные плиты иногда помещают внутри сублимационной установки. Для непрерывной работы сублимационной установки применяют входной и выходной затворы в сублимационной камере.

Расход теплоты и теплоносителя рассчитывают в такой последовательности.

1. Общее количество влаги, удаляемой из продукта за время сушки (кг),

$$W = G_1 / \left(1 - \frac{n}{m}\right) = \frac{G_2(\omega_1 - \omega_2)}{100 - \omega_2} = \frac{G_1(u_1 - u_2)}{100 - u_1}, \quad (6.22)$$

где G_1 — масса загружаемого продукта, кг; n и m — начальное и конечное содержание сухих веществ в продукте, %; ω_1 и ω_2 — начальная и конечная влажность, %; u_1 и u_2 — начальное и конечное влагосодержание (к массе сухих веществ), кг/кг.

2. В период охлаждения и самозамораживания теплоту извне не подводят, следовательно, в этот период она не расходуется. Однако влага испаряется за счет теплоты, отбираемой при охлаждении и замораживании продукта.

Количество влаги, испарившейся в период самозамораживания (кг),

$$W_1 = \frac{Wc_{ж}(t_H - t_0) + W'c_{л}(t_0 - t_K) + W'r_{п} + G_{сyx}c_0(t_H - t_K)}{r_{исп}} \quad (6.23)$$

где W' — количество самозаморозившейся влаги при температуре — 15°C , кг $W' = 0,8 \dots 0,85$ общего количества влаги, кг; $c_{\text{ж}}$, c_0 и $c_{\text{л}}$ — удельные теплоемкости соответственно влаги, сухого материала и льда, Дж/(кг·К); $c_{\text{л}} = 3,349$ кДж/(кг·К); $t_{\text{н}}$ и $t_{\text{к}}$ — начальная и конечная температуры продукта, $^{\circ}\text{C}$; t_0 — температура затвердевания сока продукта, $^{\circ}\text{C}$; $G_{\text{сух}}$ — масса сухого материала, кг; $r_{\text{исп}}$ — теплота испарения при средней температуре продукта, Дж/кг; $r_{\text{п}}$ — удельная теплота плавления льда, Дж/кг; для воды $r_{\text{п}} = 336 \cdot 10^3$ Дж/кг.

Опытными данными установлено количество влаги, испаренной во второй период, оно составляет примерно 75...85% всей удаленной влаги:

$$W_2 = (0,75 \dots 0,85)W. \quad (6.24)$$

Количество влаги, удаленной в третий период (кг),

$$W_3 = W - W_1 - W_2. \quad (6.25)$$

Расход теплоты за время сублимации и тепловой сушки (Дж)

$$Q = W_2 r_{\text{субл}} + W_3 r_{\text{исп}}. \quad (6.26)$$

где $r_{\text{субл}}$, $r_{\text{исп}}$ — теплота сублимации и испарения при средней температуре продукта при досушке, кДж/кг; $r_{\text{субл}} = 2886,6 - 0,168t_{\text{к}}$.

Расход теплоносителя (горячей воды) (кг)

$$G_n = Q / [c(t_B^H - t_B^K)], \quad (6.27)$$

где c — удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·К); t_B^H и t_B^K — начальная и конечная температуры воды, $^{\circ}\text{C}$.

6.5 Установка для сушки продуктов во вспененном состоянии

Сушка продуктов во вспененном состоянии — пеносушка — один из новых и прогрессивных методов, получивших в последние годы широкое распространение за рубежом, особенно в США. Сущность метода пеносушки заключается в том, что жидкий или пастообразный продукт с введенным в него эмульгатором (пеностабилизирующим агентом) взбивают в стойкую пену, смешивая его с воздухом или другим инертным газом. Пена затем может быть высушена в виде тонкого слоя, жгутов, перфорированного пласта (кратерная сушка) на ленте в ленточной сушилке, на поддоне в шахтной сушилке и т. д. Сушка пены может проводиться как под вакуумом, так и при атмосферном давлении.

В Дагестанском государственном техническом университете разработана и апробирована на производстве промышленная установка непрерывного действия (рис. 6.6). Установка состоит из сушильной камеры 2, изолированной асбоцементными плитами, транспортера 3, выполненного из отдельных стальных струн (трос многожильный диаметром 2 мм), сплетенных в кольца и накинутах на два блока валов 1 и 5, воздуховода 7, калорифера и вентилятора (не показаны), питателя 4, щеток доочистки 9, бункеров 6. Камера имеет

небольшую конусность в верхней части для лучшей циркуляции воздуха и оборудована газораспределительной решеткой 8.

Вспененный продукт дозатором подается в кювету питателя 4 и наносится на трос в виде цилиндрического слоя. Продукт вместе с транспортером 3 входит в сушильную камеру 2, где омывается перпендикулярным потоком горячего воздуха. За период нахождения в камере (время регулируется выбранной скоростью движения транспортера) продукт высушивается и на выходе из камеры вместе с тросом огибает блок валов 1, где скалывается в виде частиц, напоминающих в разломе макарон с пористой внутренней поверхностью. Оставшиеся частицы снимаются щетками доочистки 9.

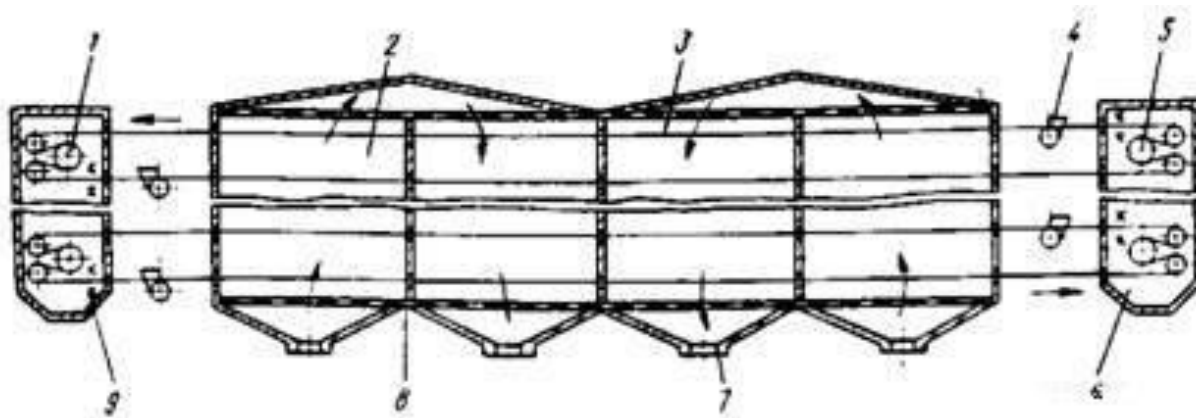


Рисунок 6.5 - Установка для сушки пюре и пастообразных материалов во вспененном состоянии

Достоинства описанной сушилки: чрезвычайная простота, отсутствие скребков и ножей, небольшие габаритные размеры. Возможность выполнения аппарата многоярусным позволяет увеличить производительность на одних и тех же площадях. Вторая ветвь транспортера может быть также рабочей, если установить двусторонние питатель и сьем.

Производительность сушилки может меняться в широких пределах в зависимости от размеров камеры и числа ярусов. Так, расчетная производительность трехъярусной сушилки размерами 4000x1000x1000 мм составляет в среднем 0,06...0,09 кг/с. При этом общие габаритные размеры установки не превышают 6000x1500x2000 мм.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте классификацию сушильных аппаратов, укажите их назначение.
2. Каковы устройство, принцип работы, отличительные особенности, преимущества и недостатки ленточных сушилок?
3. Как рассчитать ленточную сушилку?
4. Каковы назначение, устройство, принцип работы, преимущества и недостатки распылительных сушилок?
5. Как рассчитать распылительную сушилку?
6. В чем заключается сушка сублимацией, каковы преимущества этого метода? Опишите схему работы сублимационной установки.
- 7.

ГЛАВА 7

7.1 Аппараты для охлаждения и замораживания продуктов

В консервном производстве охлаждение применяют, когда необходимо:

- а) прекратить воздействие высоких температур на продукт после бланшировки, шпарки или пастеризации;
- б) снизить температуру продукта перед фаршировкой или укладкой в банки;
- в) ускорить диффузионные процессы (насыщение соков CO_2 и пюре O_2 , диффузия сахара в плоды, выпадение кристаллов);
- г) подготовить продукты к длительному хранению.

7.2 Сущность процессов охлаждения и замораживания продуктов

При охлаждении температура продукта всегда выше криоскопической, при которой начинает образовываться лед, поэтому физические константы продукта изменяются незначительно. Продукты охлаждаются водой, воздухом, рассолом или в результате испарения части влаги.

Замораживают продукты главным образом для сохранения их в свежем виде, а также при концентрировании соков вымораживанием. При замораживании температура продукта всегда ниже криоскопической, процесс сопровождается частичным вымораживанием воды и образованием кристаллов льда; при этом физические константы продукта значительно изменяются. При замораживании температуру продукта снижают до $-10...-18$ °С, а иногда и до -80 °С.

Образованию льда в растительных и животных клетках всегда предшествует некоторое переохлаждение воды, степень которого зависит от свойств продукта, скорости и условий охлаждения, характера распределения воды в продукте. Вода переохлаждается при замораживании плодов до $-5...-6$ °С; овощей до $-2...-3$; мяса, птицы и рыбы до $-4...-5$ °С.

После достижения водой температуры переохлаждения начинают образовываться кристаллы льда; это приводит к повышению температуры продукта до криоскопической (табл. 7.1).

Таблица 7.1 - Средние значения криоскопической температуры

Продукты	Криоскопическая точка, °С	Продукты	Криоскопическая точка, °С
Виноград	-3,5	Орехи	-6,7
Вишня	-2,9	Плоды в сахарном сиропе	-6,3
Груши	-2,0	Морская рыба	-1,4
Зеленый горошек	-1,1	Пресноводная рыба	-0,7
Лук	-1,1	Сливы	-2,0

Малина	-0,9	Томаты	-0,9
Мясо (разные сорта)	-0,9	Яблоки	-2,0

Перепад от температуры переохлаждения до криоскопической происходит очень быстро из-за значительной скорости роста кристаллов; по достижении криоскопической температура продукта снижается с одновременным вымораживанием воды. Кристаллы льда образуются в межклеточном пространстве и в клетках продукта, вначале на поверхности, а затем и в центре куска его.

Для пищевых продуктов количество вымерзающей воды (%) может быть определено с достаточной точностью по формуле Г. Б. Чинова

$$\omega' = \frac{110,5}{1 + \frac{0,31}{\lg[t_{\text{ср.к}} + (1 + t_{\text{кр}})]}}, \quad (7.1)$$

где ω' — количество вымерзающей воды, отнесенное к общей массе воды в 1 кг продукта, %; $t_{\text{ср.к}}$ — средняя конечная температура продукта при замораживании, °С; $t_{\text{кр}}$ — криоскопическая температура, °С.

В уравнение (7.1) подставляют абсолютные температуры без учета знака «минус». При замораживании продуктов значительно изменяются их теплоемкость и объемная масса. В зависимости от количества вымороженной воды теплоемкость замороженного продукта

$$c_{\text{м}} = (1 - W)c_{\text{сух}} + \omega Wc_{\text{л}} + (1 - \omega)Wc_{\text{в}}, \quad (7.2)$$

где W — относительное содержание воды в продукте, доли единицы; $c_{\text{сух}}$ — удельная теплоемкость сухих веществ, содержащихся в продукте, кДж/(кг·К); ω — количество вымороженной воды, %; $c_{\text{л}}$ и $c_{\text{в}}$ — удельные теплоемкости льда и воды, не превратившейся в лед, кДж/(кг·К).

Относительное содержание воды в плодах и овощах в значительной мере зависит от сорта и условий созревания, в мясе и рыбе — от вида сырья и режима предварительной обработки (табл. 7.2).

Таблица 7.2 - Относительное содержание воды в продуктах

Продукты	Относительное содержание воды, доли единицы	Продукты	Относительное содержание воды, доли единицы
Баранина жирная	0,533	Морковь	0,868
Виноград	0,782	Персики	0,800
Вишня	0,798	Сливы	0,812
Говяжье мясо:		Сливочное масло	0,136
жирное	0,530	Свинина жирная	0,474
тощее	0,764	Свинина тощая	0,725
Груши	0,830	Смородина	0,784

Камбала	0,840	Треска	0,815
Капуста	0,900	Щука	0,796
Коровье молоко	0,872	Яблоки	0,848
Крыжовник	0,856	Яйца куриные	0,737
Лососина	0,515		
Лук	0,860		

При замораживании объемная масса продукта уменьшается на 5...10% из-за увеличения объема продукта вследствие расширения образующегося льда. Скорость замораживания зависит от вида, размеров, консистенции продукта, теплопроводности и размеров тары, температуры охлаждающей среды и способа замораживания. Лучшие результаты получаются при быстром замораживании; этот способ заключается в том, что образуются ледяные кристаллы небольшого размера, слабоповреждающие клетки продукта. При этом сокращается продолжительность диффузии солей и отделения воды в виде льда, более эффективно используется оборудование, меньше вероятность воздействия микроорганизмов на продукт и лучше сохраняются витамины.

Расчет продолжительности охлаждения и замораживания продуктов представляет определенные трудности вследствие того, что этот процесс зависит от многих условий, изменяющихся во времени. Делая некоторые допущения (считая, что температура теплоотводящей среды коэффициент теплоотдачи α , коэффициент теплопроводности λ и некоторые другие физические величины постоянны во времени), Д. Г. Рютов получил формулу для определения продолжительности замораживания от начальной температуры продукта t_H до любой конечной $t_{кр.к}$, если продукт имеет форму плитки (пластины):

$$\tau = \frac{1,163\rho}{\lambda} \left[\frac{r(1+0,0053t_H)}{4190 \cdot 8(t_{кр}-t_0)} + \frac{nc}{4190\pi^2} \left(\ln \frac{t_{кр}-t_0}{t_{к.ц}-t_0} - 0,21 \right) \right] c\delta \left(\delta + \frac{4\lambda}{\alpha} \right), \quad (7.3)$$

где ρ — плотность продукта, кг/м³; λ — теплопроводность замороженного продукта, Вт/(м · К); r — теплота льдообразования продукта, Дж/кг; $r = r_0 W \omega$; r_0 — теплота затвердения воды; $r_0 = 335$ кДж/кг; W — относительное содержание воды в продукте, доли единицы; ω — количество вымороженной воды при заданной температуре, доли; t_H и t_K — начальная и криоскопическая температуры продукта, °С; t_0 — температура хладоносителя, °С; n — поправочный коэффициент; при быстром замораживании $n=1,03...1,06$; $t_{к.ц}$ — конечная температура замороженного продукта в центральном слое, °С; c — теплоемкость замороженного продукта, Дж/(кг·К); δ — общая толщина продукта, м; α — коэффициент теплоотдачи от хладоносителя к поверхности продукта, Вт/(м·К).

Допущения, принятые при выводе этой формулы, приводят к неточным результатам расчета, иногда сильно отличающимся от действительных. Однако из этой формулы можно установить влияние отдельных факторов на продолжительность замораживания, что само по себе имеет большое практическое значение. Так, начальная температура продукта t_H не оказывает заметного влияния на продолжительность замораживания; небольшое же снижение конечной температуры в центре плиты приводит к значительному увеличению продолжительности доохлаждения. Из формулы также видно, какое

влияние на время замораживания оказывают толщина плиты, коэффициент теплопередачи и теплофизические свойства продукта.

7.3 Классификация способов и устройств для охлаждения и замораживания продуктов

Различают охлаждение естественное и искусственное. Естественное охлаждение осуществляется за счет испарения части влаги, либо для этого используются вода или воздух обычной температуры. Искусственное охлаждение проводят с помощью рассола или воздуха, предварительно охлажденных за счет испарения холодильного агента.

Вакуум-охладитель, остывочные столы и стеллажи применяют при охлаждении повидла, джема, варенья. В ваннах охлаждают различные продукты после бланширования, а также банки после пастеризации или стерилизации.

Перец, горошек, зерна кукурузы, цельные томаты и другие продукты после бланширования охлаждают на ленточных транспортерах или на качающемся сите под душем водой (гидроохлаждение).

Все жидкие или полужидкие продукты (сахарный сироп, фруктовое пюре, соки) охлаждают в трубчатых или пластинчатых охладителях.

Замораживанию подвергают плоды, не имеющие дефектов, так как при появлении разложения срок их хранения увеличивается незначительно. Перед замораживанием плоды очищают, сортируют и упаковывают в тару. Наибольшее распространение получили картонные парафинированные коробки; кроме того, применяют деревянные ящики и бочки. Плоды замораживают также без тары, а затем их фасуют в картонные коробки или банки.

Известны три способа замораживания плодов: в воздухе или азоте; в жидкой среде — рассоле (непосредственным погружением продукта в рассол либо в формах); между охлажденными металлическими плитами.

На консервных заводах чаще всего производят быстрое замораживание продуктов в воздухе и между охлажденными плитами в скороморозильных плиточных аппаратах. При замораживании в воздухе применяют морозильные камеры либо скороморозильные туннельные аппараты. Продукт замораживается благодаря теплообмену между продуктом и воздухом, воздухом и хладагентом (аммиаком) или воздухом и хладоносителем (рассолом).

В морозильных камерах воздух охлаждается при помощи батарей, расположенных вдоль стен и под потолком, в которых циркулирует рассол, имеющий температуру -20°C . Иногда для снижения температуры в батареях осуществляют непосредственное испарение аммиака. Продукт, помещенный в морозильную камеру, где температура от -12 до -26°C , замораживается и затем хранится. Наряду с этим необходимо регулировать влажность воздуха, поддерживая ее в пределах 85...95%. Морозильные камеры работают периодически, т. е. они имеют период загрузки, замораживания и разгрузки. Время, затрачиваемое на погрузочно-разгрузочные работы, составляет 25...40%

продолжительности всего цикла, и при этом камеры нагреваются и теряется холод.

7.4 Охладители

В *вакуум-охладителе* продукт охлаждается за счет испарения части воды, так как при этом расходуется тепловая энергия на парообразование.

При охлаждении продуктов за счет испарения под вакуумом конечная температура зависит от глубины разрежения и соответствует температуре паров при данном давлении в аппарате. При разрежении в охладителе 90,6 кПа (остаточное давление 10,7 кПа) продукт в результате самоиспарения охлаждается до 50°C. Охлаждение до более низкой температуры осуществляется водой или воздухом.

Вакуум-охладитель представляет собой герметический сосуд, соединенный с конденсатором и вакуум-насосом. Для охлаждения под вакуумом может быть использован вакуум-выпарной аппарат с двухстенной нагревательной камерой.

Количество воды (кг), испарившейся путем самоиспарения, находят из уравнения теплового баланса

$$W = Gc(t_1 - t_2)/r,$$

где G — масса охлаждаемого продукта, кг; c — средняя удельная теплоемкость охлаждаемого продукта, Дж/(кг·К); t_1 и t_2 — начальная и средняя температуры продукта, °С; r — теплота испарения, соответствующая давлению над зеркалом испарения, Дж/кг.

На конденсацию паров, образующихся при охлаждении продукта под вакуумом, расходуется определенное количество воды и электроэнергии; эти показатели определяют в зависимости от типа конденсатора и вакуум-насоса так же, как и для вакуум-выпарных аппаратов.

Ленточные охладители применяют для охлаждения продукта в воде после бланширования. Они представляют собой охлаждающие ванны с ленточным транспортером или бывают в виде вентиляторной моечной машины либо в виде ленточного бланширователя со скребками.

Охлаждающие аппараты имеют ванну с транспортером, который перемещает овощи или фрукты в корзинах через слой воды, охлажденной до 0°C, или под оросительным душем холодной воды.

В ванне охладителя происходит непрерывная смена воды. Из уравнения теплового баланса может быть определен расход охлаждающей воды (кг)

$$W_B = \frac{Gc(t_2 - t_1)}{c_B(t_B^K - t_B^H)},$$

где G и c — масса (кг) продукта и его удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); t_1 — начальная температура продукта, °С; t_B^H — начальная температура воды, поступающей в ванну, °С; c_B — удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К).

Приток воды регулируют таким образом, чтобы температура воды, выходящей из ванны, t_B^k была ниже средней конечной температуры продукта t_2 на $5...10^\circ\text{C}$.

Если вместо средней конечной температуры продукта принять температуру на его поверхности, то по этому уравнению получается завышенный расход воды, так как в центре температура всегда выше. При охлаждении в ваннах расход воды $2...4$ кг на 1 кг продукта.

Продолжительность охлаждения зависит от многих факторов, и в первую очередь от вида, размера, зрелости плодов и овощей, способа и плотности укладки их в тару, вида тары, степени охлаждения, температуры охлаждающей среды и др.

Приближенно считают, что при охлаждении плодов изменение температуры опишется уравнением

$$t_k - t_c = (t_n - t_c)e^{-m\tau}, \quad (7.4)$$

где t_n и t_k — начальная и конечная температуры плодов, $^\circ\text{C}$; t_c — температура охлаждающей среды (вода), $^\circ\text{C}$; m — темп охлаждения; τ — продолжительность охлаждения, с.

Из формулы (7.4) находят продолжительность охлаждения

$$\tau = \frac{1}{m} \ln \frac{t_n - t_c}{t_k - t_c}, \quad (7.5)$$

Обычно продолжительность охлаждения $600...1800$ с ($10...30$ мин).

Душевой охладитель применяют, если продукт охлаждается водой под душем и не погружается в воду или если необходимо быстрое и интенсивное охлаждение. При периодической работе под душ устанавливают съемные сита с продуктом, при непрерывной — под душем движется сетчатая лента транспортера. Для охлаждения перца и бобовых после бланширования применяют сито с колебательным движением.

Интенсивность охлаждения продукта под душем зависит от скорости движения струи, площади соприкосновения воды с продуктом и начальной температуры охлаждающей воды. По мере снижения температуры продукта интенсивность охлаждения уменьшается. Продолжительность охлаждения зависит от начальной и конечной температуры продукта и интенсивности охлаждения и устанавливается для каждого вида продукта экспериментально или расчетным путем.

Хорошие результаты охлаждения получают, используя душевое устройство, образованное из сопел, имеющих внутри спиральную направляющую, при этом достигаются наибольшие плотность струи и скорость движения воды. Расход воды при охлаждении под душем $4...8$ кг на 1 кг продукта.

Поверхностные охладители — это такие аппараты, в которых жидкие продукты (сахарный сироп, фруктовое пюре, фруктовые соки и др.) охлаждаются через разделяющие перегородки в аппаратах, имеющих

поверхность охлаждения. Для этой цели наиболее распространены пластинчатые, кожухотрубные и двухтрубные теплообменники. Конструкции и расчет таких теплообменников приведены в гл. 2.

Интенсивность охлаждения в поверхностных охладителях зависит от коэффициента теплопередачи; в этих аппаратах наибольшее термическое со-противление — это термическое сопротивление теплоотдаче от продукта к стенке.

В целях экономии тепловой энергии целесообразно горячую воду после охлаждения использовать для мойки тары, листов и для других нужд. Конечная температура охлаждающей воды может отличаться на 5...10°C от начальной температуры продукта при применении противотока.

7.5 Скороморозильные аппараты

Скороморозильный аппарат ГКА-2 (рис. 7.1) изготовлен в виде горизонтальной камеры, разделенной перегородкой на два отсека. В нижнем отсеке установлены охлаждающие батареи 1, в верхнем отсеке 4 расположены вентиляционная установка 2 и ярусные направляющие полки 3, по которым перемещается продукт. Концы четных и нечетных рядов полок смещены на равные участки, благодаря этому каретки 8 (имеющие четыре ходовых ролика) и размещенные на них противни с продуктом могут совершать вертикальное зигзагообразное движение, переходя с вышележащей полки на нижележащую.

Внутри отсека 4 каретки с противнями передвигаются по нечетным полкам (1-я, 3-я, 5-я сверху) в одну сторону, а по четным полкам (2-я, 4-я, 6-я сверху) в противоположную. Такое перемещение осуществляется при помощи толкающего механизма, выполненного в виде парных вертикальных гребенок 5, зубья которых размещены над направляющими полками. Зубья гребенок скошены, благодаря чему обеспечивается плавное опускание крайней каретки с противнем с верхней полки на нижележащую.

Для загрузки и выгрузки продукта служит подъемно-опускной стол 6. При движении его вниз Г-образные упоры открывают заслонку 7 разгрузочного окна и каретка с противнем выходит на стол 6. После этого противень сдвигается на транспортер, а каретка, находясь на столе, поднимается вверх, принимая по пути два противня с продуктом. В верхнем положении упоры открывают заслонку загрузочного окна, через которое противень со свежим продуктом поступает на каретку и затем вместе с ней гребенкой вталкивается на верхнюю полку.

Производительность скороморозильного аппарата ГКА-2 при температуре кипения аммиака 40°C [т/сут (кг/с)]: зеленого горошка, вишни, черешни в коробках 10 (0,12), зеленого горошка россыпью 15 (0,18), перца россыпью 10 (0,12), томатов россыпью, кукурузы в початках 12 (0,14), сливы россыпью 15 (0,18). Температура воздуха в аппарате — 35 °С; поверхность батарей охлаждения 925 м²; скорость воздуха над продуктом 7 м/с; производительность вентилятора 7,7 м³/с; мощность электродвигателя вентилятора 10 кВт, электродвигателя конвейера 1 кВт; продолжительность цикла замораживания 3600... 15 840 с (1...4,4 ч).

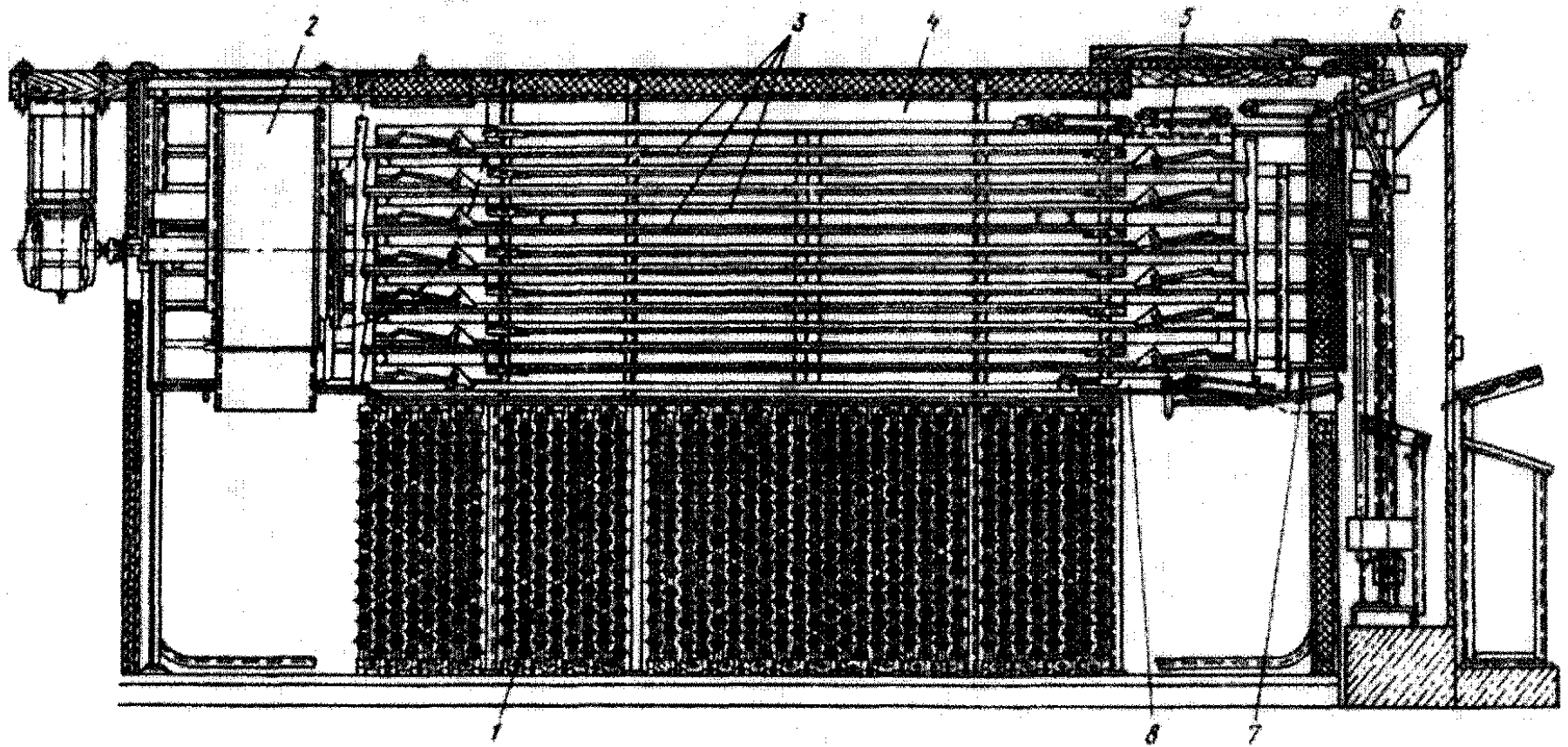


Рисунок 7.1 - Скороморозильный аппарат ГКА-2

Туннельные скороморозильные аппараты работают непрерывно. Быстрое замораживание достигается воздействием охлажденного воздуха, движущегося вдоль продукта с большой скоростью, температура которого -30°C .

Туннельный морозильный аппарат (рис. 7.2) имеет корпус 8, покрытый пробковой изоляцией толщиной 400 мм. В нем установлены две батареи 13 непосредственного испарения; поверхность охлаждения их 252 м².

Над батареями расположен транспортер 4 с лентой из проволочной сетки шириной 2 м. Расстояние между центрами барабанов транспортера 10 м. Рабочая и холостая части ленты поддерживаются опорными роликами 5 и по краям — направляющими роликами 7.

Транспортер приводится в движение от электродвигателя 12 через червячный редуктор и регулятор скорости 10; при помощи этого регулятора можно устанавливать продолжительность замораживания от 2,5 до 3,5 ч. От того же регулятора скорости транспортер получает периодическое (прерывистое) движение; это позволяет в моменты остановки загружать транспортер через загрузочное отверстие и разгружать его через отверстие 9.

Коробки с продуктом устанавливают в камере 1 предварительного охлаждения; для этого закрывают крышку 3 при закрытой резиновой завесе 2. В момент остановки транспортера планка выталкивателя перемещает коробки из камеры 1 на транспортер. Жидкий аммиак подается в отделитель 6, откуда по трубопроводам он поступает в испарительные батареи. Испарение происходит при температуре $-33,3^{\circ}\text{C}$. После этого парообразный аммиак выходит в верхнюю часть жидкостного отделителя 6 и из него поступает в компрессор.

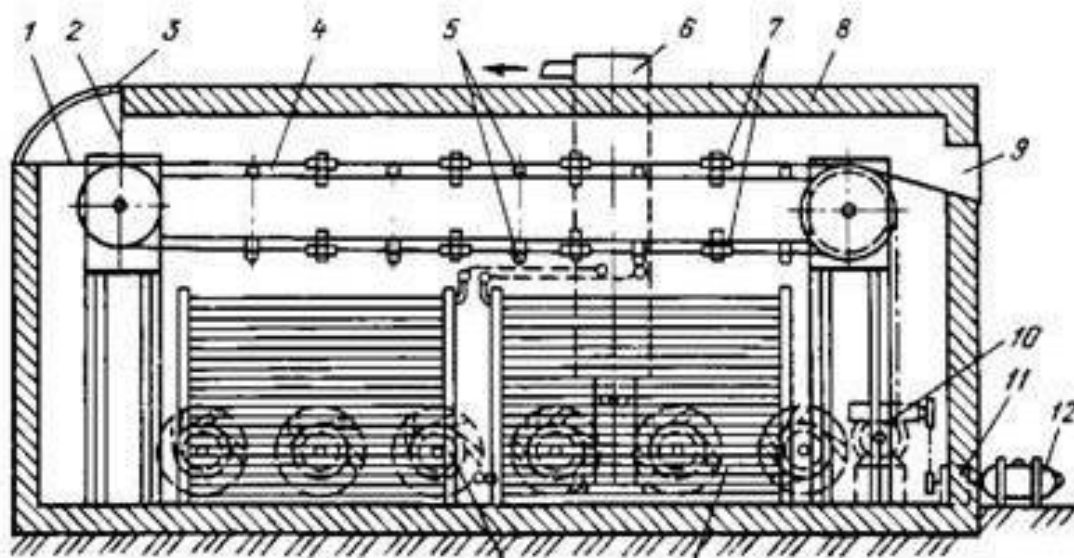


Рисунок 7.2 - Туннельный скороморозильный аппарат

В жидкостном отделителе уровень аммиака поддерживается поплавковым регулятором. Циркуляция воздуха осуществляется при помощи шести осевых крыльчатых вентиляторов 14, расположенных с одной стороны батарей. Охлажденный воздух всасывается вентиляторами из нижней части батареи и по каналам нагнетается в верхнюю часть корпуса; отсюда охлажденный воздух

выходит в место, где расположена рабочая часть ленты, на которой находится продукт.

Плоды в картонных коробках после замораживания имеют температуру —18°С. Производительность аппарата 400 кг/ч; габаритные размеры аппарата 11 500 x 3650 x 2300 мм.

Недостатки туннельного скороморозильного аппарата: большие габариты; недостаточное использование его объема, что приводит к значительным потерям холода; неупорядоченная циркуляция воздуха, в результате чего продукт неравномерно замораживается по ширине ленты; теплопотери через загрузочное отверстие. Кроме того, недостатком этого аппарата является также то, что он может быть применен для замораживания продуктов только одного размера.

Плиточные скороморозильные аппараты производства ООО "Эйркул"

Область применения: для заморозки рыбы и рыбного филе, креветок и других морепродуктов; овощных смесей; мяса вырезки и мясных полуфабрикатов, измельченных продуктов.



Рисунок 7.3 - Плиточный скороморозильный аппарат производства ООО "Эйркул"

Преимущества применения: аппарат приспособлен для заморозки широкой гаммы продуктов; блоки с замороженными продуктами имеют одинаковые габариты, что обеспечивает удобство при транспортировке и хранении на складе; плиточные аппараты могут быть разработаны как моноблочное изделие со встроенным холодильным агрегатом, так и как комплекс аппаратов с центральной станцией холодоснабжения, которая обеспечивает низкое энергопотребление при высокой скорости заморозки; скороморозильный аппарат удовлетворяет жестким гигиеническим стандартам и собран из тщательно подобранных экологически безопасных компонентов и материалов и

имеет необходимые сертификаты; возможно изготовление аппаратов как в береговом, так и в морском исполнении с воздушным или водяным конденсаторами.

В состав аппарата входят: блоки из горизонтальных плит с гидростанцией производства DSI (A/S DybvadStalIndustri) (Дания), Jackstone (Великобритания); холодильная установка на базе компрессоров германской фирмы BITZER; камера из сэндвич панелей с дверьми либо подъемными шторками; щит управления. Процесс замораживания осуществляется следующим образом: Блок-формы, изготовленные из нержавеющей стали или пищевого алюминия, с рыбой и морепродуктами помещают между плитами аппарата. Плиты сжимаются, создавая определенное усилие прессования продукта и хороший тепловой контакт. Внутри плит кипит при низком давлении холодильный агент, отбирая тепло от замораживаемой рыбы. Непосредственный контакт продуктов с охлаждаемыми плитами интенсифицирует их охлаждение и замораживание. Процесс замораживания длится 1.5-2 часа. В стандартную комплектацию плиточного скороморозильного аппарата «Эйркул» входят блоки из горизонтальных плит с гидростанцией DSI H20 (эффективный размер плиты - 1610x1230). Технические характеристики DSI H20

По желанию заказчика могут быть использованы плиты DSI следующих модификаций:

Тип плиты	Эффективный размер
DSIH11	2390x1120
DSIH12	2440x1120
DSIH22	1980x1230
DSIH24	2190x1230
DSIH26	2390x1230

Конструкция. Плиточные скороморозильные аппараты DSI смонтированы на прочной стальной горячеоцинкованной раме с двумя гидравлическими цилиндрами. Тем самым обеспечивается постоянное равномерное давление плит и получение качественно замороженных блоков продукции.

Работа. Контактная заморозка в плиточных аппаратах DSI является быстрым и экономичным способом замораживания вследствие двустороннего контакта блока продукта с поверхностью морозильных плит. Кроме того, быстрое низкотемпературное замораживание сохраняет высокое качество продукта.

Процесс замораживания осуществляется следующим образом:

С технологического оборудования продукт попадает на конвейер спирального скороморозильного аппарата непосредственно или по дополнительному приёмному транспортёру (поставляется дополнительно). Движение ленты и постепенное её закручивание в спираль происходит плавно без рывков с постоянной скоростью, что обеспечивает неизменное расположение на ней продукта за время прохождения по всем ярусам с нижнего до верхнего. Образующийся вертикальный цилиндр спирального конвейера и

постаментный испарительно-вентиляторный блок, обшиты листами из нержавеющей стали, таким образом, что создаётся направленность воздушного потока, в котором и происходит отбор тепла от- продукта за счёт взаимодействия с холодным воздухом. Замороженная продукция с верхнего яруса сыпается в приёмный бункер или подаётся по дополнительному транспортёру на весовой стол или фасовочный аппарат.

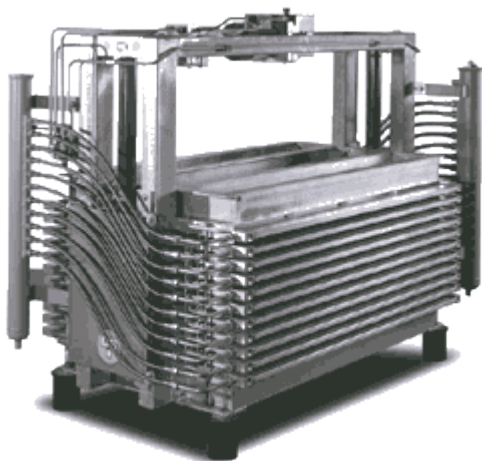


Рисунок 7.4 - Схема процесса

Отличительные особенности спиральных скороморозильных аппаратов «Эйркул»:

- аппарат работает в автоматическом режиме, включая спиральный транспортер и холодильную установку, обеспечивая поддержание требуемых температурных режимов и заданной скорости движения транспортера;
- аппарат может быть спроектирован для заморозки практически любой продукции;
- поставляемое оборудование производится по новейшим технологиям и соответствует международным и российским стандартам качества;
- компактные размеры камеры. При необходимости, имеется возможность многократной сборки и разборки камеры без потери качества конструкции;
- возможность оптимизации процесса замораживания в зависимости от типа продукта и его массы за счет применения температурных регистраторов;
- широкий спектр производительности - от 300 кг/час до 2000 кг/час;
- оптимальное распределение воздушного потока в камере обеспечивает максимальную скорость заморозки продукта;
- пониженные эксплуатационные расходы за счет применения современной техники и приборов автоматики, обеспечивающих работу холодильной установки в энергосберегающих режимах;
- рабочие вещества и материалы имеют необходимые гигиенические сертификаты и сертификаты соответствия.

Аппараты для замораживания продуктов в азоте (побочном продукте при получении кислорода) все более широко применяют в консервной промышленности. Жидкий азот испаряется при температуре — 195°С. Пары его направляют со скоростью 35..40 м/с на продукт, и в результате большой разности температур он замораживается за несколько минут.

Скороморозильный аппарат имеет туннель, разделенный по длине на три секции. Через весь туннель проходит транспортер с сетчатой лентой из нержавеющей стали, перемещающий продукт, подлежащий замораживанию. Над транспортером в каждой секции установлена нагнетательная камера, в днище которой укреплены сопла, направленные на продукт. В первой секции туннеля продукт охлаждается до температуры замораживания; во второй — замораживается и в третьей — «закаляется». Парообразование азота происходит во второй секции в испарителе; пары азота из испарителя воздуходувкой нагнетаются в камеру и через сопла направляются на продукт. Воздуходувки первой и третьей секций отбирают пары азота из второй секции и подают их через нагнетательные камеры и сопла на продукт. Количество циркулирующих паров азота регулируется в зависимости от температуры смеси. Давление паров азота в туннеле несколько выше атмосферного, что предотвращает попадание наружного воздуха и влаги, и поэтому снеговой шубы внутри аппарата не образуется.

Испытания показали, что 90% затраченного холода расходуется на отбор теплоты от продукта и 10% — на компенсацию теплопритоков от воздуходувки, транспортера и стенок туннеля.

Целесообразность использования азота определяют экономическим расчетом; при этом приближенно можно считать, что 1 кг жидкого азота, испаряясь и нагреваясь затем до -25°С, способен отдать около 376,8 кДж/кг (90 ккал/кг), чего достаточно для охлаждения и замораживания 1 кг продукта до -18°С.

Многоплиточные скороморозильные аппараты применяют для замораживания плодов, овощей, филе рыбы и мяса в картонных коробках. В этих аппаратах теплообмен между хладагентом и продуктом происходит через перегородку (стенку).

Аппараты работают как с непосредственным испарением жидкого аммиака, так и с рассольным охлаждением.

Конструкция аппаратов в той части, где осуществляются подача и отвод хладагента, зависит от его вида.

Многоплиточный скороморозильный аппарат, работающий с рассольным охлаждением, выполнен в виде шкафа, имеющего одну или две двери, через которые загружают и выгружают продукт, уложенный в картонные коробки. Внутренние размеры шкафа 1757x1230x1600 мм. В шкафу горизонтально одна над другой расположены 11 плит размером 1320x1000x40 мм. Плиты изготовлены из сплава алюминия и имеют внутри зигзагообразный канал, по которому движется рассол, охлажденный до -25...-30°С. Верхняя плита закреплена неподвижно; все остальные плиты могут двигаться вертикально вверх или вниз по специальным направляющим. Плиты перемещаются

гидравлическим плунжером, приводимым в движение давлением масла 1,0...1,2 МПа; масло нагнетается шестеренным насосом через масляный ресивер.

При подъеме плит зазор между ними фиксируется уложенными по краям деревянными планками, высота которых на 2...3 мм меньше высоты коробки. Общий максимальный подъем плит 625 мм. При перемещении нижней плиты вверх она упирается планками ввышележащую, поднимает ее до встречи со следующей плитой и т. д. Коробки с продуктом плотно зажимаются между двумя плитами, но не раздавливаются благодаря деревянным планкам, фиксирующим зазор.

Рассол поступает в плиты и выходит из них через патрубки, соединенные шлангами с вертикальными коллекторами; через один подается охлажденный рассол во все плиты; через другой отводится нагретый рассол на охлаждение. Скорость циркуляции рассола в плитах 0,2...0,3 м/с.

Аппарат работает периодически; производительность его зависит от количества продуктов, загружаемых одновременно, продолжительности замораживания, загрузки и выгрузки.

Показатели работы аппарата при замораживании продукта до температуры -18°C приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3 - Характеристика работы аппарата

Показатели	Мясо и рыба — филе	Фрукты и овощи
Масса продукта в одной коробке, кг	3,3	0,45
Продолжительность замораживания, с (ч)	10800(3)	9000(2,5)
Количество коробок на одной плите	24	90
Масса продукта, кг:		
на одной плите	80	40
загружаемого в аппараты	800	400
Количество оборотов аппарата в сутки	7,3	8,6
Производительность аппарата, кг/с (кг/сут)	0,067(5840)	0,0314(3140)

Такую же конструкцию имеют многоплиточные скороморозильные аппараты, работающие с непосредственным испарением аммиака в каналах плит; конструктивно такие аппараты отличаются от описанного выше только устройством приспособлений для подачи жидкого и отвода парообразного аммиака.

В аппарате установлено 11 плит размером 1300 x 1100x40 мм из алюминия с зигзагообразным змеевиком. Жидкий аммиак температурой -30°C поступает через поплавковый регулирующий вентиль в вертикальный коллектор и затем по шлангам — в каждую плиту. Коллектор соединен с ресивером жидкого аммиака, расположенным над аппаратом. Пары аммиака отсасываются из каждой плиты по шлангам во второй коллектор, откуда они направляются к компрессору.

Основные недостатки плиточных скороморозильных аппаратов:

- сравнительно небольшая производительность, что вынуждает устанавливать большое число аппаратов и приводит к увеличению расходов на обслуживающий персонал;
- применение ручного труда при замораживании продукта в коробках и в особенности в формах (подготовка продукта, укладка в коробки, загрузка, выгрузка, перемещение);
- непригодность аппаратов для одновременной загрузки продуктов разных размеров и разной толщины;
- периодичность работы аппаратов, связанная с необходимостью загрузки и выгрузки продукта;
- небольшая производительность аппаратов из-за большого термического сопротивления в месте контакта коробок (форм) и плит.

Флюидизационные скороморозильные аппараты. Скороморозильные аппараты типа "ФСА" предназначены для заморозки овощей, ягод, фруктов, грибов, зеленого горошка и др. Предварительно очищенный, помытый, нарезанный и просушенный продукт поступает на подающий транспортер, находящийся в холодильной камере, где продукт предварительно подмораживается в «псевдокипящем» слое (принцип флюидизации). Продукт с подмороженной поверхностью с помощью загрузочного лотка подается в замораживающий барабан, изготовленный из нержавеющей сетки, что позволяет интенсивно продувать продукт холодным воздухом. Замораживающий барабан эффективно обдувается потоками холодного воздуха.



Рисунок 7.5 - Флюидизационный скороморозильный аппарат

С помощью лопаток и шнека продукт постоянно ворошится и продвигается вдоль барабана к окну выгрузки, откуда поступает на выгрузной лоток, а затем на расфасовку и упаковку.

В комплект поставки входит теплоизоляционный контур и воздухоохладитель на базе испарителя «Guentner» и холодильная установка на базе компрессоров «BITZER» Германия.

Технические характеристики: габариты, мм 3900x3500x2000, производительность (картофель), кг/час 300/500, температура внутри продукта, °С, начальная/конечная +20...25, продолжительность цикла заморозки, мин - 20-30, холодопроизводительность при $T_0 = -40$ °С, кВт 52/80.

7.6 Расчет расхода холода на замораживание

Под расходом холода понимают то количество теплоты, которое отбирается хладоносителем от продукта, тары и воздуха при замораживании. В качестве хладоносителя чаще всего используют растворы солей (CaCl_2 , NaCl , MgCl_2) — рассолы. В тех случаях, когда нужна очень низкая температура в скороморозильных аппаратах, применяют непосредственное испарение хладагента с поверхности охлаждения. Соответственно и методика расчета несколько отличается. При расчете расхода холода на замораживание продукта условно считают, что охлаждение его до криоскопической температуры, вымораживание воды и снижение температуры ниже криоскопической происходят одновременно.

Расход холода при замораживании продуктов рассчитывают в такой последовательности.

1. Расход холода на охлаждение продукта до начала замораживания

$$Q_1 = Gc(t_H - t_{Kp}), \quad (7.6)$$

где G — количество продукта, подлежащего замораживанию, кг; c — удельная теплоемкость продукта, Дж/(кг·К); t_H — начальная температура продукта и коробок, °С; t_{Kp} — криоскопическая температура продукта, °С.

2. Расход холода на вымораживание воды в продукте

$$Q_2 = GW\omega r_d, \quad (7.7)$$

где W — содержание воды в 1 кг продукта, кг; ω — количество вымороженной воды, доли единицы от общего содержания воды в 1 кг продукта; r_d — теплота затвердевания воды; $r_d = 335 - 10$ Дж/кг.

3. Расход холода на охлаждение сухих веществ продукта, льда и незамерзающей части воды до температуры ниже криоскопической

$$Q_3 = Gc_M(t_{Kp} - t_{cp.k}), \quad (7.8)$$

где c_M — удельная теплоемкость замороженного продукта, Дж/(кг·К); $t_{cp.k}$ — средняя конечная температура продукта и коробок, °С.

4. Расход холода на охлаждение тары

$$Q_4 = G_T c_T (t_H - t_{cp.k}), \quad (7.9)$$

где G_T — масса тары, кг; c_T — теплоемкость картона, Дж/(кгК); $c_T = 1340$ Дж/(кгК).

5. Расход холода на компенсацию потерь в окружающую среду принимается обычно равным 4...6% общего расхода холода:

$$Q_5 = \frac{(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)a}{100 - a}, \quad (7.9)$$

где $a = 4...6\%$.

6. Общий расход холода

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (7.10)$$

Общий расход холода $Q_{\text{общ}}$ соответствует холодопроизводительности холодильной машины (без учета потерь холода при транспортировке хладоносителя).

7. Количество циркулирующего хладоносителя (рассола)

$$D = \frac{Q_{\text{общ}}}{c_p^k t_p^k - c_p^h t_p^h}, \quad (7.11)$$

где c_p^h и c_p^k — начальная и конечная удельные теплоемкости рассола (приданной плотности и температуре), Дж/(кг·К); t_p^h и t_p^k — начальная и конечная температуры рассола-хладоносителя, °С.

Количество циркулирующего рассола в единицу времени

$$D_c = D / \tau,$$

где τ — продолжительность замораживания в аппарате, с.

8. Величина теплопередающей поверхности испарителя, где теплота от рассола передается холодильному агенту,

$$F_{\text{исп}} = \frac{Q_{\text{общ}}}{K \Delta t \tau}, \quad (7.12)$$

где K — коэффициент теплопередачи испарителя, Вт/(м К); Δt — разность температур, °С; обычно $\Delta t = 5$ °С; τ — продолжительность замораживания, с.

Коэффициенты теплопередачи K для рассольных испарителей следующие [Вт/(м²·К)]: для погружных 230...290, кожухотрубных одноходовых 350...400, кожухотрубных многоходовых 400...465.

В том случае, если в скороморозильном аппарате используется непосредственное испарение холодильного агента, расчет расхода холода и $Q_{\text{общ}}$ проводят, как указано выше.

Количество циркулирующего холодильного агента

$$G_a = Q_{\text{общ}} / (i_1 - i_4), \quad (7.13)$$

где i_1 и i_4 — удельные энтальпии холодильного агента, поступающего и уходящего из испарителя, Дж/кг.

Теоретическая мощность компрессора холодильной установки

$$N_T = G_a(i_2 - i_1)/(1000\tau), \quad (7.14)$$

где i_1 и i_2 — энтальпии паров холодильного агента до и после сжатия в компрессоре, Дж/кг; τ — время (с), затраченное на сжатие G_a (кг) паров холодильного агента.

С помощью приведенного метода определения расхода холода получают достаточно точные для технических расчетов результаты, если теплоемкость замороженного продукта см принимать при соответствующей средней конечной температуре замораживания.

Контрольные вопросы и задания

1. С какой целью применяют в консервной промышленности процессы охлаждения и замораживания? 2. Что происходит с пищевым продуктом при замораживании? Как изменяется его температура? 3. Дайте классификацию способов и устройств для охлаждения и замораживания. 4. Объясните принцип работы охладителей. 5. Каковы устройство и принцип работы скороморозильного аппарата ГКА-2? Каковы устройство и принцип работы туннельного скороморозильного аппарата? 7. Опишите способ замораживания продуктов в жидком азоте, укажите его преимущества и недостатки. 8. Каковы устройство и принцип работы многоплиточного скороморозильного аппарата? 9. Как рассчитать расход холода на замораживание продукта?

ГЛАВА 8

8.1 Вспомогательные устройства теплового оборудования

Для поддержания вакуума в выпарных установках (вакуум-охладителях и других аппаратах) применяют конденсаторы, в которых конденсируются вторичные пары охлаждающей водой. На консервных заводах наиболее распространены конденсаторы смешения.

В нагревательных камерах тепловых аппаратов, в которых в качестве теплоносителя используют водяной пар, образуется конденсат.

Нормальная работа теплового аппарата возможна при непрерывном и полном удалении из него образующегося конденсата, для чего применяют конденсатоотводчики.

8.2 Конденсационные установки

Конденсационная установка с противоточным барометрическим конденсатором, применяемая для конденсации больших количеств вторичного пара, проста в устройстве и обслуживании.

Корпус конденсатора 1 (рис. 8.1) изготовлен из стали; диаметр его 400...2000 мм и высота 1200...5500 мм. Внутри конденсатора установлено от 3 до 8 полок, которые могут быть сплошными или с отверстиями диаметром 2...5 мм. Каждая полка перекрывает сечение конденсатора на 50...70%. Для создания напора, преодолевающего сопротивление при движении воды через отверстия, по краям полок делают выступы (пороги).

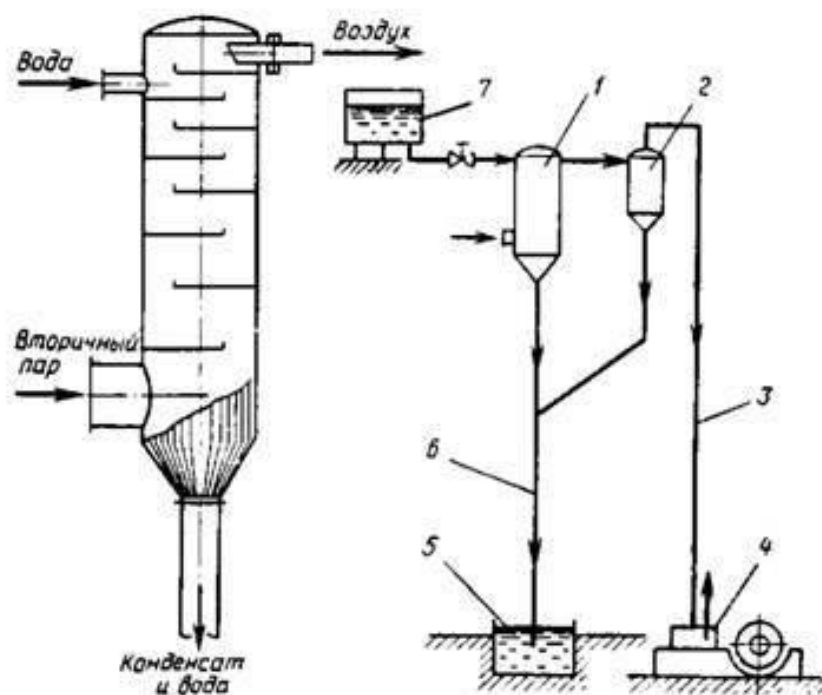


Рисунок 8.1 - Барометрический конденсатор

Длина (или высота) барометрической трубы зависит от рабочего разрежения в конденсаторе. При полном вакууме в конденсаторе и отсутствии движения воды под действием атмосферного давления вода поднималась бы в барометрической трубе на 10,33 м. Действительный уровень воды ниже.

Высота столба воды (м) в барометрической трубе

$$H_6 = H_0 + h_1 + h_2 + h_3 \quad (8.1)$$

где H_0 — высота (м) столба воды, соответствующая разрежению b в конденсаторе в мм рт. ст.; $H_0 = 10,336/760$; h_1 — высота столба воды, необходимая для создания скоростного напора и преодоления гидравлических сопротивлений, м;

$$h_1 = \frac{v^2}{2g} \left(1 + \sum \xi \right)$$

v — скорость движения воды в барометрической трубе; принимается равной 0,5...2,0 м/с; ξ — коэффициент местных сопротивлений; h_2 — высота трубы, компенсирующая колебания столба жидкости из-за изменения внешнего давления, м; h_3 — высота трубы, погруженная в барометрический бассейн для образования гидравлического затвора ($h_3 = 0,5$ м).

Подставим в формулу (8.1) указанные значения и получим" полную высоту барометрической трубы

$$H = 10,53 \frac{b}{760} + \frac{v^2}{2g} \left(1 + \sum \xi \right) + 0,5$$

Таким образом, полная высота барометрической трубы обычно достигает 10,5 м.

Ловушка 2 предназначена для отделения капель воды, уносимых воздухом из конденсатора. При попадании воды в цилиндр воздушно-сухого насоса 4 происходит гидравлический удар и возможна авария. Воздушно-сухой вакуум-насос предназначен для непрерывного откачивания воздуха, поступающего по трубе 3 из конденсатора. Водонапорный бак 7 устанавливают несколько выше конденсатора. Это позволяет регулировать количество воды, поступающей в конденсатор, независимо от разрежения в нем.

Конденсационная установка с прямоточным полубарометрическим конденсатором (рис. 8.2) имеет укороченную барометрическую трубу 2 (1...3 м), из которой центробежный насос откачивает смесь конденсата и охлаждающей воды. В верхней части конденсатора 1 имеются такие же полки, как и в барометрическом конденсаторе; вместо полок могут быть кольца и диски 11. В нижней части конденсатора установлен шаровой поплавок 13, соединенный рычагом с краном 12, регулирующим подачу воды. За уровнем воды наблюдают по водомерному стеклу 14. Когда в конденсаторе вакуум-насосом 7 создают разрежение, то охлаждающая вода из бака 5, пройдя через фильтр 4, попадает на верхние полки 10 конденсатора. Вода, стекая вниз, разбрызгивается и, переходя с полки на полку, образует водяные завесы, а в самом конце — гидравлический затвор.

Вторичный пар, поступающий из вакуум-аппаратов, соприкасаясь с холодной водой, конденсируется. Полученный конденсат вместе с нагревающейся охлаждающей водой непрерывно откачивается центробежным насосом 3 в сборник 6. При этом уровень воды в конденсаторе такой, что поплавков «держит» кран открытым.

Скапливающийся в конденсаторе / воздух и неконденсирующиеся газы, пройдя через ловушку 9 по трубе 8, откачиваются воздушным вакуум- насосом 7. Если приток воды в конденсаторе будет превышать отбор ее центробежным насосом 3, то уровень воды поднимется, поплавков всплывет и рычагом закроет кран, через который подается охлаждающая вода.

Из уравнения теплового баланса конденсатора определяют расход охлаждающей воды (кг/с)

$$W_{\text{охл}}ct_{\text{н}} + D_c i_c = W_{\text{охл}}ct_{\text{к}} + D_c c i t_{\text{к}}$$

откуда

$$W_{\text{охл}} = [D_c(i_c - c i_{\text{к}})]/[c(i_{\text{к}} - i_{\text{н}})], \quad (8.2)$$

где D_c — количество конденсирующихся вторичных паров, кг/с; i_c — удельная энтальпия вторичных паров, Дж/кг; c — удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К); $i_{\text{н}}$ и $i_{\text{к}}$ — начальная и конечная температуры охлаждающей воды, °С ($i_{\text{к}}$ обычно принимают на 5...10°С ниже температуры вторичных паров).

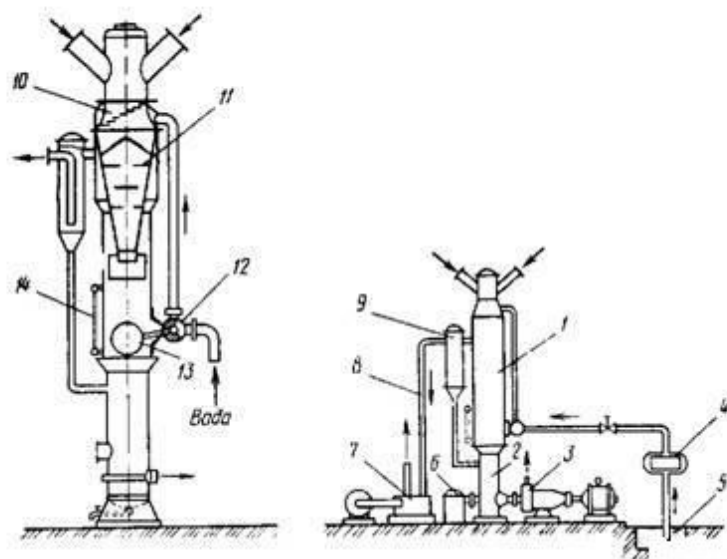


Рисунок 8.2 - Полубарометрический конденсатор

Расход охлаждающей воды (кг) на конденсацию 1 кг вторичного пара, называемый кратностью расхода воды, определяется начальной и конечной температурами воды:

$$m = (i_c - c t_{\text{к}})/[c(t_{\text{к}} - t_{\text{н}})], \quad (8.3)$$

Охлаждающая вода, соприкасаясь со вторичным паром, нагревается, и температура ее повышается. Чем больше поверхность единицы объема воды и время соприкосновения ее с паром, тем выше конечная температура воды и меньше ее расход. Благодаря имеющимся в конденсаторе полкам увеличивается длительность пребывания частиц воды в конденсаторе. Задерживая движение воды, они одновременно создают водяные завесы, струи и даже капли, увеличивая поверхность воды во много раз.

Конечная температура охлаждающей воды t_k всегда ниже температуры вторичного пара t_a на величину Δt в барометрических противоточных конденсаторах $\Delta t = 5...10$ °С, в полубарометрических прямоточных конденсаторах $\Delta t = 8...12$ °С. Таким образом, конечная температура охлаждающей воды $t_k = t_n - \Delta t$.

Кратность m расхода воды на конденсацию пара составляет (кг/кг): в барометрическом противоточном конденсаторе 18...24; в полубарометрическом прямоточном 22...27.

Из конденсатора необходимо непрерывно удалять воздух, попадающий с водой, вторичным паром и из-за негерметичности выпарной установки. Масса откачиваемого воздуха (кг/с)

$$G_B = 0,001[0,025(D_c + W_{охл}) + 8D_c], \quad (8.4)$$

Из характеристического уравнения

$$P_B V_B = G_B R T_B,$$

определяют объем откачиваемого воздуха (м³/с)

$$V_B = (G_B R T_B) / P_B, \quad (8.5)$$

где R — газовая постоянная; T_B — абсолютная температура воздуха в конденсаторе, К; $T_B = 273 + t_b$; P_B — давление воздуха в конденсаторе, Па;

$$P_B = P_c - P_{п},$$

где P_c — давление в конденсаторе, равное давлению вторичного пара, Па; $P_{п}$ — упругость водяных паров (Па) при температуре воздуха t_b (находят по соответствующим таблицам).

Подставив в формулу (8.5) значения T_B и P_B , получим

$$V_B = [R G_B (273 + t_b)] / (P_c - P_{п}), \quad (8.6)$$

где t_b — температура воздуха в верхней части конденсатора, °С; определяют по эмпирической формуле $t_b = t_n + 4 + 0,1(t_k - t_n)$

8.3 Оборудование для удаления воздуха из конденсаторов

Воздух из конденсаторов, а следовательно, и из вакуум-аппаратов удаляют при помощи поршневых, ротационных и эжекторных вакуум-насосов.

Поршневые и воздушно-сухие вакуум-насосы обслуживают противоточные барометрические и прямоточные полубарометрические конденсаторы. Так как степень сжатия применяемых в консервном производстве насосов достигает 10, то объемный КПД одноступенчатого поршневого вакуум-насоса очень низок — 0,4...0,6. Для повышения КПД часто используют насосы двойного действия с перепуском газа при помощи золотникового газораспределения. При этом объемный КПД насоса увеличивается до 0,8...0,9.

Мощность электродвигателя для воздушного вакуум-насоса (кВт)

$$N = \frac{1}{1000\eta_M} \frac{m}{m-1} p_B V_B \left[(p_2/p_B)^{\frac{m}{m-1}} - 1 \right], \quad (8.6)$$

где m — показатель политропы; для воздуха $m=1,25$; p_B — давление воздуха до сжатия, Па; p_2 — давление воздуха после сжатия, Па; η_M — механический КПД.

Для откачивания воздуха из конденсаторов нередко устанавливают водокольцевые вакуум-насосы РМК. Они просты по конструкции и удобны для установки при конденсаторах небольшой производительности. Величина вакуума, создаваемого насосом, в значительной мере зависит от температуры охлаждающей воды: при повышении ее вакуум снижается. Для ротационного вакуум-насоса удельный расход электроэнергии значительно больше, чем для других типов вакуум-насосов.

Зависимость подачи ротационных вакуум-насосов от величины создаваемого вакуума показана в табл. 8.1.

Таблица 8.1 - Характеристика насосов

Насос	Подача (м ³ /мин) при вакууме, % барометрического давления			Мощность электродвигателя, кВт	Расход воды, дм ³ /с	Угловая скорость ротора, рад/с
	60	80	90			
РМК-1	0,5	0,15		4,5	-	-
РМК-2	1,55	0,6	0,1	10,0	0,33	145
РМК-3	4,5	2,0	1,0	29,0	1	96
РМК-4	11,0	5,0	2,0	70,0	1,7	72

Для работы эжекторного вакуум-насоса необходим пар давлением 0,7...1 МПа. Достоинства насосов: отсутствие движущихся частей, простота обслуживания и регулирования, недостатки — большая чувствительность к неравномерному притоку воздуха; сравнительно большой период времени для создания первичного вакуума; необходимость поддержания постоянного (без колебаний) давления рабочего пара; значительное снижение производительности насоса и глубины вакуума при уменьшении заданного давления пара.

Двухступенчатые паровые эжекторные вакуум-насосы создают вакуум 79,9...99,9 кПа; производительность их достигает 0,11 кг/с воздуха.

Зависимость расхода пара давлением 0,8... 1 МПа для откачивания воздуха от величины вакуума в конденсаторе показана в табл. 8.2.

Таблица 8.2 - Зависимость расхода пара от вакуума в конденсаторе

Вакуум в конденсаторе, кПа	Удельный расход пара на удаление воздуха, кг/кг		Вакуум в конденсаторе, кПа	Удельный расход пара на удаление воздуха, кг/кг	
	максимальный	минимальный		максимальный	минимальный
99,7	38,5	33,5	94,7	13,2	12,5
97,6	21,0	20,0	92,8	11,0	10,5
			91,2	10,0	9,5
96,5	16,0	15,0	89,5	9,0	8,5

При монтаже или сборке после ремонта поршневых и ротационных вакуум-насосов важное значение имеет герметичность соединений, так как воздух проникает в насос чаще всего из-за негерметичности сальниковых уплотнений. В качестве набивки для сальниковых вакуум-насосов применяют хлопчатобумажную, пеньковую или льняную пряжу в виде шнура, пропитанного антифрикционной массой. Такая набивка выдерживает давление до 2 МПа при максимальной температуре 100°С. Для прокладок используют листовую резину или асбестовый картон.

8.4 Конденсатоотводчики

Устройство, обеспечивающее отделение конденсата и удаление его из нагревательной камеры, называется конденсатоотводчиком. По принципу действия различают конденсатоотводчики с гидравлическим затвором (простой и батарейный затвор), с гидравлическим сопротивлением (подпорные шайбы), с механическим затвором (поплавковые конденсатоотводчики).

Гидравлические затворы используют при небольших давлениях греющего пара. При последовательном соединении ряда затворов уравнивается противодавление в нагревательной камере и конденсат свободно вытекает в конденсатоотводчик. При этом исходят из того, что один затвор высотой 1 м уравнивает давление 10 кПа. Таким образом, при избыточном давлении 0,2 МПа нужно установить 20 затворов высотой 1 м каждый. Если батарея затворов получается не слишком громоздкой, она предпочтительнее любого конденсатоотводчика, так как в такой батарее нет движущихся частей, она проста в устройстве и надежна в действии.

Гидравлические затворы с успехом применяют при отводе конденсата из нагревательных камер, в которых давление ниже атмосферного, например из камер вакуум-подогревателей и вакуум-аппаратов. В этом случае для отвода конденсата из нагревательной камеры устанавливают барометрическую трубу.

Подпорные шайбы представляют собой стальной диск толщиной 3...6 мм, в центре которого имеется отверстие. Диаметр последнего должен быть таким, чтобы через него могло пройти установленное количество конденсата при определенной разности давлений. Работа подпорных шайб основана на искусственном создании гидравлического сопротивления проходу пара.

Подпорные шайбы надежно работают при равномерном поступлении конденсата, постоянной разности давлений и отсутствии в последующем

конденсате твердых примесей (накипи или ржавчины). При переменном режиме работы аппарата, когда значительно изменяются расход пара или его давление, подпорные шайбы не пропускают всего образовавшегося конденсата или пропускают вместе с конденсатом некоторое количество пара.

При давлении пара до шайбы 0,3...0,5 Па потери пара составляют 1...2,5% общего расхода; при давлении пара 0,7... 1 Па потери увеличиваются до 5% и более. Поэтому при переменном режиме работы аппарата подпорные шайбы нужно ставить только в том случае, если давление в нагревательной камере не превышает 0,5 МПа. Если диаметр отверстия шайбы меньше 3 мм, то во избежание засорения его твердыми примесями конденсата устанавливают защитную сетку. Шайбы, диаметр отверстий которых меньше мм, применять не рекомендуется.

Подпорные шайбы устанавливают между фланцами, как показано на рис. 8.3,а, или монтируют их в вентиле (рис. 8.3,б).

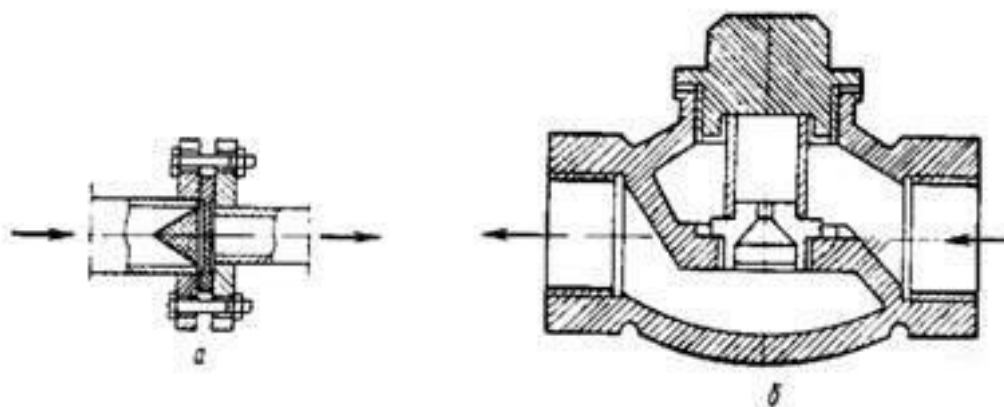


Рисунок 8.3 - Подпорные шайбы

Площадь отверстия подпорной шайбы, имеющей скошенные кромки, рассчитывают отдельно для прохода жидкой части конденсата и для прохода вторичного пара, образующегося при самоиспарении конденсата из-за падения давления в отверстии шайбы. Для этого вначале определяют количество образовавшегося вторичного пара (кг/с)

$$D = [G_1(i_1 - i_2)]/(i - i_2),$$

где G_1 — количество конденсата до конденсатоотводчика, кг/с; i_1 и i_2 — удельные энтальпии конденсата до и после конденсатоотводчика, Дж/кг; i — удельная энтальпия вторичного пара, Дж/кг.

Затем находят площадь отверстия шайбы (мм): для прохода пара

$$F_1 = D/(0,44\sqrt{p_2\varrho_2}), \quad (8.9)$$

для прохода конденсата

$$F_2 = (G_1 - D)/(31\sqrt{p_1 - p_3}), \quad (8.10)$$

где p_1 — давление пара до шайбы, Па; p_2 — давление жидкости в отверстии шайбы, Па; p_3 — давление конденсата после шайбы, Па; ρ — плотность пара при давлении p_2 , кг/м³.

Диаметр отверстия (мм)

$$d = \sqrt{4(F_1 + F_2)/\pi},$$

Давление жидкости p_2 (Па) в отверстии шайбы меньше давления среды до шайбы p_1 на величину потерь давления Δp_x

$$p_2 = p_1 - \Delta p_1 \quad (8.11)$$

Потери давления (Па)

$$\Delta p_1 = 0,06(p_1 - p_3) \quad (8.12)$$

Поплавковые конденсатоотводчики, применяемые в консервном производстве, бывают с закрытым (непрерывно действующие) и с открытым поплавком (периодически действующие).

Основным рабочим органом конденсатоотводчика с закрытым поплавком (рис. 8.4) является металлический пустотелый легкий поплавок чаще всего шарообразной формы. Он связан шарнирной системой с клапаном или золотником, регулирующим выход конденсата из выпускного отверстия прибора.

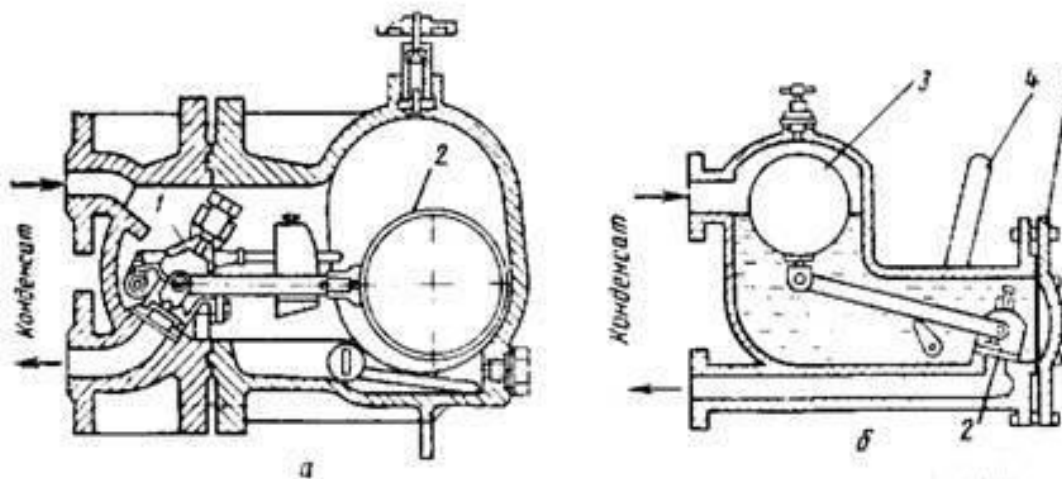


Рисунок 8.4 - Конденсатоотводчик с закрытым поплавком

В конденсатоотводчик (рис. 8.4,а) конденсат поступает через верхний штуцер и заполняет внутреннюю часть прибора. Поплавок 2, всплывая, действует на рычаг, поднимающий клапан 1, который открывает выход конденсату. Конденсат отводится из прибора под действием внутреннего избыточного давления пара. В случае освобождения прибора от конденсата поплавок опускается и закрывает клапаном выходное отверстие.

В конденсатоотводчике, изображенном на рис. 8.4 б, выходное отверстие для конденсата закрывается золотником 1, совершающим возвратно-

поступательное движение. При нижнем положении поплавка 3 отверстие 2 для выхода конденсата закрыто золотником. При переходе поплавка в верхнее положение золотник открывает выходное отверстие и конденсат под влиянием избыточного давления внутри прибора выходит в конденсатопровод.

Для удаления воздуха и других неконденсирующихся газов на крышке корпуса конденсатоотводчика установлен продувной краник. В начале работы аппарата при помощи рычага 4 из конденсатоотводчика и паровой камеры удаляют оставшийся в них конденсат вне зависимости от положения пошивка.

Достоинство конденсатоотводчиков с закрытым поплавком — возможность применения в них для отвода конденсата золотниковой конструкции вместо клапанной. При использовании этой конструкции конденсатоотводчик меньше изнашивается и достигается лучшая герметичность выпускного механизма.

Недостатками описанного конденсатоотводчика являются: неизбежность выхода его из строя при малейшем нарушении герметичности поплавка (в этом случае он заполняется конденсатом и не всплывает); образование накипи на шарнирах, что приводит к прекращению движения рычагов.

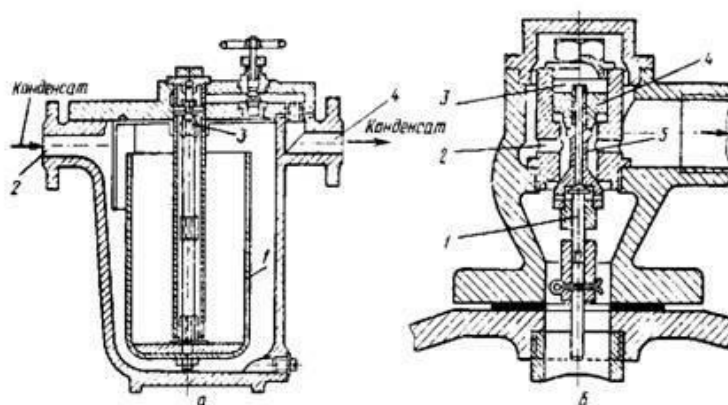


Рисунок 8.5 - Конденсатоотводчик с открытым поплавком

При работе конденсатоотводчика конденсат из нагревательной камеры теплового аппарата поступает в штуцер 2 и заполняет кольцевое пространство, ограниченное поверхностями корпуса и поплавка. При повышении уровня конденсата в кольцевом пространстве поплавок поднимается и прижимает клапан 3 к седлу. Начинается первый этап работы прибора — заполнение его конденсатом. После заполнения кольцевого пространства конденсат переливается внутрь поплавка. Когда уровень конденсата достигнет примерно половины высоты поплавка, последний опускается на дно прибора, открывая клапан 3 для выхода конденсата. С этого момента начинается второй этап — под влиянием избыточного давления пара конденсат уходит из поплавка через штуцер 4 в конденсатоотвод и далее в конденсационный сборник. После разгрузки от части конденсата поплавок всплывает и закрывает клапан 3. Этим заканчивается полный цикл работы конденсатоотводчика. Циклы непрерывно повторяются в течение всего периода работы теплового аппарата (табл. 8.3).

В конденсатоотводчике с открытым поплавком типа «Автомат» (рис. 8.5,а) при верхнем положении поплавка 1 выпускной клапан 3 для конденсата закрыт, при нижнем — открыт. Клапан наглухо прикреплен к поплавку и при своем движении регулируется направляющими.

Таблица 8.3 - Техническая характеристика конденсатоотводчиков с открытым поплавком и одинарным типа «Автомат»

Показатели	Номер поплавка		
Диаметр входного патрубка, мм	25	32	50
Габаритные размеры, мм			
длина	250	420	550
высота	356	490	660

Для конденсатоотводчиков, обслуживающих аппараты большой производительности (особенно работающих на паре высоких параметров), необходимы поплавки значительной массы и больших размеров. Только при этих условиях поплавок сможет преодолеть обычное внутреннее давление на клапан большого диаметра и оторвать его от клапанного гнезда. Для возможности отрыва выпускного клапана при меньших размерах и меньшей массе поплавок предложены конденсатоотводчики с двойными клапанами (табл. 8.4).

Таблица 8.4 - Техническая характеристика конденсатоотводчика с открытым поплавком и двойным клапаном

Показатели	Номер поплавка					
	00	0	1	2	3	4
Диаметр, мм						
меньшего клапана	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	6,0
большего клапана	3,5	4,0	4,5	6,0	8,0	10,0
поплавок	92	106	126	152	185	210
Высота поплавка, мм	125	145	168	210	270	350
Диаметр горшка, мм	108	126	152	190	226	264
Ход поплавка, мм	8	9	10	15	20	20
Расстояние между трубкой и днищем, мм	21	22	31	42	53	58
Масса поплавок, кг	0,5	0,8	1,1	2,0	3,0	4,0
Диаметр входного патрубка, мм	15	20	25	32	40	50
Габаритные размеры, мм						
длина	225	300	350	410	485	560
высота	285	330	390	465	560	635

Двойной клапан для отвода конденсата (рис. 8.5,б) состоит из малого вспомогательного клапана 1 и большого основного 5. Вспомогательный клапан имеет крайне незначительную площадь сечения, поэтому давление на него даже при высоких давлениях пара можно уравновесить поплавком незначительных массы и объема. В связи с этим вспомогательный клапан будет достаточно

чувствительным и сможет сравнительно легко отрываться от гнезда. При этом по обе стороны вспомогательного клапана устанавливается давление, равное давлению пара. На рис. 8.5, б показаны поршень 4 и пространство 3 над ним.

Давления на основной клапан, действующие в противоположных на-правлениях, взаимно уравниваются; основной клапан несколько опускается и открывает отверстие 2 для выхода конденсата в выходной штуцер. При последующем подъеме поплавок вспомогательный клапан увлекает за собой основной клапан и прижимает его к гнезду, закрывая выход для конденсата.

Достоинства конденсатоотводчиков с открытым поплавком:

- выпускной клапан долго сохраняет герметичность; реже и в меньшей степени происходит заедание клапана (поскольку движущиеся части непрерывно находятся в действии);
- легче осуществляется контроль работы (по пульсации выбрасываемого конденсата и по звуку отсечек);
- конденсат в значительной степени освобождается от загрязняющих примесей, оседающих на дно прибора
- при образовании отверстия или трещины в поплавке конденсатоотводчик частично теряет чувствительность, но все же его можно эксплуатировать.

Основные недостатки конденсатоотводчиков с открытым поплавком: ограниченность колебаний давления на выпускной клапан, при которых возможна нормальная работа; при превышении предельного давления поплавки теряют способность опускаться в нижнее положение и открывать для выхода конденсата клапан.

В работе конденсатоотводчиков с открытым поплавком возможны следующие неполадки:

- недостаточно тщательная притирка выходного клапана или нарушение его герметичности вследствие загрязнения седла; скопление грязи на дне конденсатоотводчика;
- недостаточная герметичность вентиля на обводном конденсатоотводе; это приводит к частичной работе теплового аппарата на «пролетном» паре и значительному увеличению расхода последнего;
- короткие интервалы между отсечками и большое их число, вследствие чего клапан и его седло изнашиваются и теряют герметичность.

Конденсатоотводчики с принудительным выталкиванием конденсата применяют для удаления его в атмосферу из паровой камеры, работающей на паре давлением меньше атмосферного. Такой конденсатоотводчик (рис. 8.6) имеет чугунный корпус 2, по оси которого расположен цилиндрический поплавок 1. Последний поднимается и опускается при помощи шарниров 3 с сохранением своего направления. На шарнире 5 на одной с ним оси находится деталь 4, которая при движении шарнира может поочередно опускать и поднимать клапаны 6 и 11 вентиля. Вентиль с клапаном 6 соединяет корпус конденсатоотводчика с паровой камерой аппарата, вентиль с клапаном 11 — с

паропроводом острого пара. Рычаг 7 заканчивается головкой 8, по желобу которого может катиться ролик 9, прижимаемый к головке пружиной 10.

При незначительном объеме конденсата или при пустом конденсатоотводчике поплавков находится в нижнем положении; при этом шарнир 5 и связанная с ним деталь 4 поддерживают клапан 6 вентиля в поднятом состоянии. Поэтому конденсат может стекать из паровой камеры аппарата в конденсатоотводчик через клапан 12. При более высоком уровне конденсата давление последнего на поплавков (снизу) преодолевает сопротивление пружины 10. Поплавков при этом быстро всплывает, причем головка 8 шарнира 5 и деталь 4 несколько поворачиваются вокруг своих осей. При их повороте освобождается клапан вентиля, соединяющий корпус конденсатоотводчика с паровой камерой аппарата. Вентиль закрывается и поднимает клапан 11.

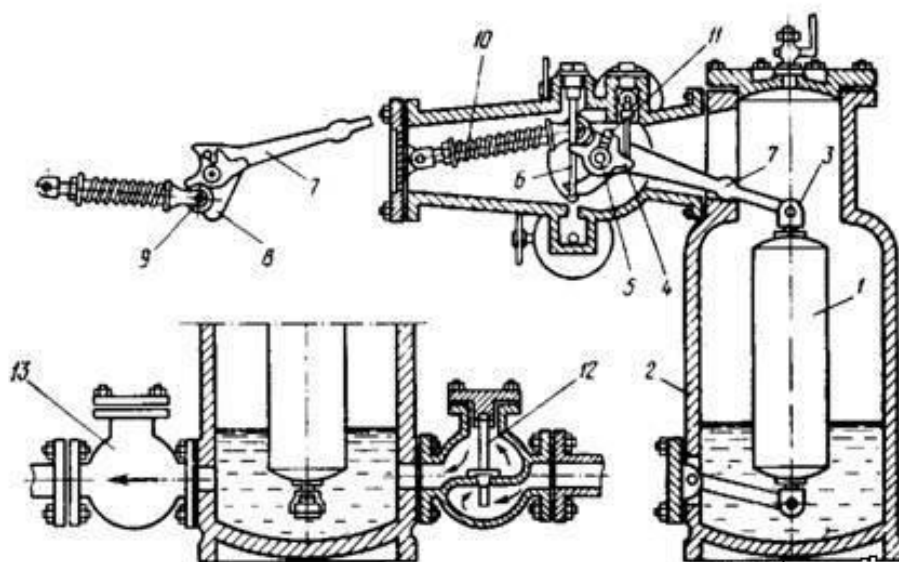


Рисунок 8.6 - Конденсатоотводчики с принудительным выталкиванием

Под давлением острого пара конденсат выталкивается через клапан 13 в сборник. Уровень конденсата в конденсатоотводчике снижается. При достижении конденсатом своего исходного уровня поплавков быстро приходит в нижнее положение и снова перекрывает оба вентиля. Начинается следующий цикл работы конденсатоотводчика. Следующие один за другим циклы повторяются в течение всего времени работы аппарата.

Расчет конденсатоотводчиков проводят следующим образом.

Рассчитаем диаметр клапанного отверстия конденсатоотводчика. Требуется определить диаметр клапанного отверстия конденсатоотводчика, установленного после обжарочной печи. Примем следующие обозначения: G_1 — расход конденсата; p_1 — давление до конденсатоотводчика; p_3 — давление после конденсатоотводчика; φ — коэффициент скорости ($\varphi \sim 0,92$); μ — коэффициент расхода ($\mu \sim 0,88$); a — коэффициент заполнения клапанного сечения ($a=0,7$).

1. Потери давления в клапанном отверстии (МПа)

$$\Delta p = (1 - \varphi^2)(p_1 - p_3) \quad (8.13)$$

2. Давление в клапанном отверстии (МПа)

$$p_2 = p_1 - \Delta p)$$

3. Количество образовавшегося вторичного пара (кг/с)

$$D = G_1(i_1 - i_2)/r \quad (8.14)$$

где; i_1 и i_2 — энтальпии конденсата до и после конденсатоотводчика, кДж/кг; r — теплота парообразования при давлении пара p_2 , кДж/кг.

4. Площадь клапанного отверстия (мм²)

$$F = D/(0,72a\mu\sqrt{p_2\rho_2}) + (G_1 - D)/(50a\mu\sqrt{p_1 - p_3}). \quad (8.15)$$

5. Диаметр клапанного отверстия (мм)

$$d = \sqrt{4F/\pi}.$$

Выпускной клапан может обеспечивать нормальную работу теплового аппарата в том случае, если размер и масса поплавка будут такими, при которых клапанное отверстие будет своевременно открываться и закрываться.

Размеры поплавка и клапана, масса поплавка, наибольшая и наименьшая высота уровня конденсата в поплавке и давление до конденсатоотводчика и после него связаны между собой двумя уравнениями равновесия поплавка .

Запишем первое уравнение равновесия поплавка (при верхнем положении)

$$\pi d^2/4(p_1 - p_3)10^4 + \pi d_1^2/4H \cdot 10^3 = G_{\text{п}} + \pi d_1^2/4h_1 \cdot 10^3, \quad (8.16)$$

где d_1 — диаметр поплавка, м.

Масса поплавка (кг)

$$G_{\text{п}} = \pi d^2/4(p_1 - p_3)10^4 + \pi d_1^2/4 \cdot 10^3(H - h_1),$$

где h_1 — максимальный уровень конденсата в поплавке, м.

Если высота поплавка H равна h_1 , то масса поплавка

$$G_{\text{п}} = \pi d^2/4(p_1 - p_3)10^4$$

Второе уравнение равновесия поплавка (при нижнем положении) может быть записано в таком виде:

$$\pi d_1^2/4 \cdot 10^3 = G_{\text{п}} + \pi d_1^2/4h_2 10^3, \quad (8.18)$$

где h_2 — минимальный уровень конденсата в поплавке, м.

Из последнего выражения находим массу поплавка

$$G_{\text{п}} = \pi d_1^2/(H - h_2)10^3, \quad (8.19)$$

Если $h_2 \sim 0$, то

$$G_{\text{п}} = \pi d_1^2 / H \cdot 10^3, \quad (8.20)$$

Из первого уравнения равновесия (8.16) можно сделать следующий вывод: даже в том случае, если $h_1 = H$, т. е. если поплавков заполняется конденсатом до отказа, выпускной клапан откроется только при условии, когда

$$G_{\text{п}} > \pi d^2 / 4 (p_1 - p_3) 10^4, \quad (8.21)$$

Таким образом, из выражения (8.21) следует, что выпускной клапан открывается, когда масса поплавка превышает (при данной разности давлений $(p_1 - p_2)$) силу внутреннего избыточного давления на клапан. Следовательно, конденсатоотводчик, рассчитанный и построенный для одного давления пара, может оказаться непригодным для работы при более высоком давлении.

Из второго уравнения равновесия (8.18) следует, что поплавков сможет всплыть из нижнего положения и закрыть выпускной клапан только при условии, если масса меньше вытесненного им объема конденсата. В противном случае поплавков останется в нижнем положении и конденсатоотводчик будет непрерывно пропускать пар.

Давление p_1 (до конденсатоотводчика) принимается равным давлению греющего пара; давление p_3 (после конденсатоотводчика) для тепловых аппаратов консервного производства, за исключением чанов и обжарочных аппаратов, может быть принято равным атмосферному. Для выпарных чанов и особенно для обжарочных аппаратов давление p_3 следует принимать в пределах 0,3...0,4 МПа.

Контрольные вопросы и задания

1. Рассмотрите конденсаторы смешения: назначение, устройство, принцип работы и расчет. 2. Опишите насосы для удаления воздуха из конденсаторов, их преимущества и недостатки. 3. Каковы устройства конденсатоотводчиков, гидравлических затворов, подпорных шайб? Как их рассчитывают? 4. Как устроены конденсатоотводчики с закрытым поплавком? Каковы принцип их работы, преимущества и недостатки? 5. Рассмотрите конденсатоотводчики с открытым поплавком: принцип работы, преимущества и недостатки. 6. Как рассчитывают конденсатоотводчики? 7. Каков принцип работы конденсатоотводчика с принудительным отводом конденсата?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Аминов М.С. Технологическое оборудование консервных и овощесушильных заводов [Текст] / Аминов М.С., Мурадов М.С., Аминова Э.М. – М.:Колос, 1996. – 431с.
- 2.Ахмедов М.Э., Демирова А.Ф. Ахмедов Н.М., Ахмедова М.М. Аппарат оросительного типа для ступенчатой ротационной стерилизации консервов //Пат. №2462962 Рос. Федерация: МПК А 23 L 3/04. Бюл. №28.
- 3.Ахмедов М.Э. Разработка и создание новых ресурсосберегающих способов консервирования и эффективных устройств и аппаратов для тепловой стерилизации консервов. Дисс. докт. техн. наук.-Махачкала 2011г.
4. Барановский, Н. В. Пластинчатые и спиральные теплообменники [Текст] / Н. В. Барановский, Л. М. Коваленко, А. Р. Ястребенецкий. – М.: Машиностроение, 1973. – 288 с.
5. Большаков, С. А. Холодильная техника и технология продуктов питания [Текст] / С. А. Большаков. – М.: Академия, 2003. – 286 с.
6. Гинзбург, А. С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов [Текст] / А. С. Гинзбург. – М.: – Пищевая промышленность, 1973. – 528 с.
7. Гинзбург, А. С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности [Текст] / А. С. Гинзбург. – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.
- 8.Демирова А.Ф. Научно-техническое обоснование и разработка инновационных ресурсосберегающих технологий консервированных продуктов с использованием ступенчатой тепловой стерилизации.Дисс. докт. техн. наук.-Краснодар, 2014г.
9. Исаченко, В. П. Теплопередача [Текст]: учебник / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
10. Кавецкий, Г. Д. Процессы и аппараты пищевой технологии [Текст]: учебник / Г. Д. Кавецкий, Б. В. Васильев. – М.: Колос, 2000. – 551 с.
11. Коваленко, Л. М. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи [Текст] / Л. М. Коваленко, А. Ф. Глушков. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 240 с.
12. Кретов, И. Т. Технологическое оборудование предприятий пищевконцентратной промышленности [Текст] / И. Т. Кретов, А. Н. Остриков, В. М. Кравченко. – Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1996. – 448 с.
13. Липатов, Н. Н. Процессы и аппараты пищевых производств [Текст] / Н. И. Липатов. – М.: Экономика, 1987. – 272 с.
14. Машиностроение [Текст]: энциклопедия. Т. IV-XVII. Машины и оборудование пищевой и перерабатывающей промышленности / С. А. Мачихин, В. Б. Акоюн, С. Т. Антипов; под ред. С. А. Мачихина. – М.: Машиностроение, 2003. – 736 с.
15. Машины и аппараты пищевых производств [Текст]: учебник для вузов. В 2 кн. / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков и др. – М.: Высшая школа, 2001. – 1703 с.
16. Мещеряков, Ф. Е. Основы холодильной техники и холодильной технология [Текст] / Ф. Е. Мещеряков. – М.: – Пищевая промышленность, 1975. – 560 с.
17. Плаксин, Ю. М. Процессы и аппараты пищевых производств [Текст] / Ю. М.

Плаксин, Н. Н. Малахов, В. А. Ларин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2005. – 760 с.

18. Плановский, А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии [Текст] / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – М.: Химия, 1987. – 496 с.

19. Практикум по процессам и аппаратам химических и пищевых производств [Текст]: учебное пособие [Текст] / А. В. Логинов, Л. Н. Ананьева, Ю. В. Красовицкий, С. В. Энтин; Воронеж. гос. технол. акад. – Воронеж, 2003. – 336 с.

20. Сажин, Б. С. Основы техники сушки [Текст] / Б. С. Сажин. – М.: Химия, 1984. – 320 с.

21. Стабников, В. Н. Процессы и аппараты пищевых производств [Текст] / В. Н. Стабников, В. М. Лысянский, В. Д. Попов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 503 с.

22. Страхов, В. В. Вакуум-выпарные установки молочной промышленности и их эксплуатация [Текст] / В. В. Страхов. – М.: Пищевая промышленность, 1970. – 142 с.

23. Сушка пищевых растительных материалов [Текст] / Г. К. Филоненко, М. А. Гришин, Я. М. Гольденберг, В. К. Коссек. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 439 с.

24. Теоретические основы хладотехники. Тепломассообмен [Текст] / С. Н. Богданов, Н. А. Бучко, Э. И. Гуйго и др. – М.: Агропромиздат, 1986. – 319 с.

25. Теплотехника [Текст] / под ред. В. Н. Луканина. – М.: Высшая школа, 2002. – 671 с.

26. Чернобыльский, И. И. Выпарные установки [Текст] / И. И. Чернобыльский. – Киев: Изд-во Киевского университета, 1960. – 262 с.