

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО БРЯНСКИЙ ГАУ

Купреенко А.И., Исаев С.Х., Исаев Х.М., Слезко Е.И.

Механизация доения коров и первичной обработки молока

Учебно-методическое пособие
для бакалавров направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия

Брянская область, 2022

УДК 637.115 (07)

ББК 36.95

М 54

Механизация доения коров и первичной обработки молока: учебно-методическое пособие для бакалавров направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия / А. И. Купреенко, С. Х. Исаев, Х. М. Исаев, Е. И. Слезко. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2022. – 71 с.

Учебно-методическое пособие по дисциплине «Машины и оборудование в животноводстве» составлено в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначено для бакалавров направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия. Учебно-методическое пособие содержит теоретический материал по основным вопросам дисциплины «Машины и оборудование в животноводстве». Направлен на формирование у бакалавров знаний современных технических систем для доения коров и первичной обработки молока, отечественных и зарубежных производителей, особенностей расчета и эксплуатации, а также умений осуществлять его профессиональную эксплуатацию с поддержанием оптимальных режимов.

Рецензент: В.Е. Гапонова – к.с.-х. н., доцент кафедры технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института Брянского ГАУ, протокол №2 от 28 октября 2022 года.

© Брянский ГАУ, 2022

© Купреенко А.И., 2022

© Исаев С.Х., 2022

© Исаев Х.М., 2022

© Слезко Е.И., 2022

Содержание

Предисловие	4
Введение	5
1 Теория и расчет доильных машин	6
1.1 Физиологические основы машинного доения коров	6
1.2 Основы физиологии и технологии машинного доения	7
1.3 Способы и технология машинного доения коров	9
1.4 Зоотехнические требования на доильные машины	10
1.5 Доильные аппараты и их классификация	11
1.6 Основы теории и расчет доильных аппаратов	13
1.7 Доильные установки и их классификация	18
1.8 Классификация, основы расчета и характеристики вакуумных насосов	22
1.9 Определение расхода воздуха доильной машиной	25
1.10 Расчет вакуумных насосов	26
2 Теория рабочего процесса и расчет охладителей молока	29
2.1 Зоотехнические требования к аппаратам, применяемым для охлаждения молока	29
2.2 Классификация и конструктивные схемы охладителей молока	29
2.3 Анализ процесса охлаждения, выбор и расчет охладителей	30
3 Холодильные установки, их выбор и технологические расчеты	39
3.1 Физические основы получения искусственного холода и классификация холодильных установок	39
3.2 Принцип работы компрессионной холодильной установки	40
3.3 Способы отвода и использования холода, получаемого при работе холодильной установки	41
3.4 Выбор и технологический расчет холодильных установок	43
4 Основы теории, выбор и расчет пастеризаторов молока	46
4.1 Основы пастеризации молока и ее режимы	46
4.2 Зоотехнические требования на пастеризаторы молока	47
4.3 Классификация и конструктивные схемы пастеризаторов	48
4.4 Выбор и расчет пастеризаторов	50
4.5 Элементы теории и расчет регенераторов тепла	51
5 Теория и расчет молочных сепараторов	54
5.1 Физические основы разделения жидких смесей и классификация молочных сепараторов	54
5.2 Зоотехнические требования на сепараторы молока	55
5.3 Анализ рабочего процесса и теория сепарирования	55
5.4 Расчет молочных сепараторов	60
Литература	70

Предисловие

Важным этапом в развитии машинного доения коров в нашей стране явилось создание в 1934 г. инженерами В. Ф. Королевым, В. С. Красновым и зоотехником Д. Ф. Мартюгиным отечественной доильной машины, работающей по трехтактному циклу. Доильный аппарат этой машины был создан в результате изучения работы зарубежных доильных машин, анализа процесса сосания теленком коровы и физиологии молочной железы.

В настоящее время на молочно-товарных фермах колхозов и совхозов применяются трех- и двухтактные доильные машины.

Несмотря на то, что первые доильные устройства были разработаны за рубежом еще в конце прошлого столетия и в настоящее время имеется большое количество конструкций машин, во всем мире продолжают интенсивные исследования, направленные на совершенствование как отдельных узлов, так и доильных машин в целом.

Разработка новых доильных машин идет в направлении учета в их конструкциях многообразных физиологических требований, вытекающих из их воздействия на очень сложный живой организм.

Молоко является быстропортящимся продуктом. Сохранение свойств свежесвыдоенного молока требует его обязательной обработки, которая может осуществляться по следующим технологическим схемам: очистка, очистка и охлаждение, очистка, сепарирование; пастеризация и охлаждение.

Машинное доение коров наряду с получением молока высокого качества позволяет в 2-5 раз повысить производительность и значительно облегчить условия труда доярок.

Введение

В настоящем учебно-методическом пособии представлены основные методические материалы к лекционным и самостоятельным занятиям по дисциплине «Машины и оборудование в животноводстве», предназначенные для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия.

Студенты должны научиться пользоваться современной литературой, справочными материалами, каталогом, плакатами и нормативными документами.

Данные виды работы позволяет студентам получить практические навыки по изучению конструкции оборудования для доения коров и первичной обработки молока, необходимые для формирования высококвалифицированных специалистов в агроинженерии.

Учебно-методическое пособие разработано в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия с выполнением компетентного подхода и соблюдением общепрофессиональных и профессиональных компетенций: ОПК-4 Способен реализовывать современные технологии и обосновывать их применение в профессиональной деятельности; ПКС-1 Способен обеспечивать эффективное использование сельскохозяйственной техники и технологического оборудования для производства сельскохозяйственной продукции.

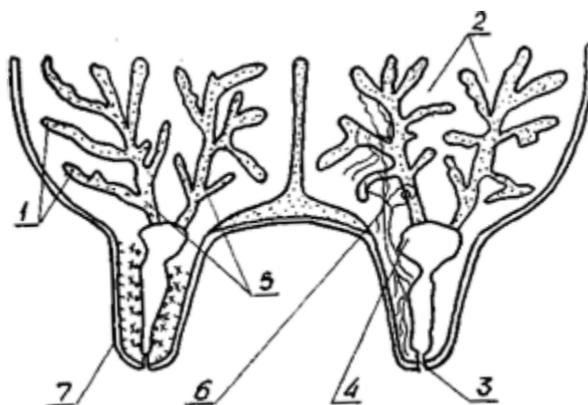
1 Теория и расчет доильных машин

1.1 Физиологические основы машинного доения коров

Работа доильного аппарата должна быть строго согласована с физиологическими функциями процессов молокообразования и молокоотдачи у коровы.

Молочная железа, или вымя коровы (рисунок 1.1), состоит из четырех самостоятельных долей. В каждой доле имеется огромное количество мелких мешочков - альвеол 1, вырабатывающих молоко из веществ, поступающих сюда с кровью.

Молочные протоки 5 связывают альвеолы с молочной цистерной 4 и соском 7. В вымени расположена хорошо развитая сеть кровеносных и лимфатических сосудов, а также нервных волокон, большая часть окончаний которых находится в сосках. На конце каждого соска имеется запирающая мышца - сфинктер 3, закрывающая молоко выход наружу.



1 - альвеолы; 2 - соединительная ткань; 3 - сфинктер; 4 - молочная цистерна; 5 - молочные протоки; 6 - нервы; 7 – сосок

Рисунок 1.1 - Строение вымени коровы

В процессе молокообразования молоко накапливается в альвеолах. При этом избыточное давление внутри вымени повышается, достигая $4 \text{ кН/м}^2/30 \text{ мм рт. ст.}$, процесс молокообразования замедляется, а затем и совсем прекращается.

Принцип действия внутреннего механизма молокоотдачи следующий. При сосании или доении раздражение окончаний нервных волокон в сосках вымени передается через центральную нервную систему в головной мозг животного. В ответ на это раздражение мозг подает команду в подмозговую железу внутренней секреции - гипофиз, который затем выделяет в кровь особый гормон - окситоцин.

Окситоцин, дойдя по системе кровообращения до вымени, вызывает со-

кращение мышц, в результате чего молоко переходит в молочные цистерны и соски. Происходит так называемый припуск молока, являющийся ответом животного на внешнее раздражение. При этом избыточное давление в вымени быстро возрастает до 5 кН/м^2 (40 мм рт. ст.). Кроме непосредственного раздражения сосков, молокоотдача у коров вызывается условными рефлексами на зрительные, звуковые и другие раздражения, предшествующие или сопутствующие доению. К таким раздражениям относятся, например, звон посуды, пощелкивание пульсатора доильного аппарата, подмывание вымени теплой водой и т. д. Нарушение обычного комплекса раздражителей приводит, как правило, к снижению удоя и жирности молока.

Время от получения внешнего сигнала до активного припуска равно примерно 45 с. За это время должны быть выполнены все операции по подготовке вымени и начат процесс доения.

Активное сжатие альвеол при доении длится всего лишь 3-4 мин, затем мышечные волокна утомляются и расслабляются; наступает спад, а через 5-6 мин у большинства коров полностью прекращается молокоотдача.

Первое и самое важное требование физиологии - выработать у животного полноценный и устойчивый рефлекс молокоотдачи, т. е. приучить корову быстро и полностью отдавать молоко при доении машиной.

Второе требование заключается в правильной организации проведения подготовительных, основной и заключительных операций, которые должны проводиться независимо от типа применяемой доильной машины и способа организации доения на ферме.

Подготовительные операции: подмывание вымени теплой водой, обтирание его и массаж, сдаивание первых струек молока, включение аппарата в работу и надевание доильных стаканов на соски - должны быть выполнены за время не более 60 с.

Основная операция - собственно доение с учетом машинного додаивания - должна быть завершена на 4-6 мин.

Заключительные операции - это отключение аппаратов и снятие доильных стаканов с сосков.

1.2 Основы физиологии и технологии машинного доения

Совершенствование существующих, разработка и внедрение в практику новых перспективных технологий и машин должны обеспечивать повышение продуктивности молочного скота и сохранение качества молока, при одновременном снижении его себестоимости.

Машинное доение позволяет увеличить производительность и облегчить

труд доярок; наиболее эффективно использование особенностей рефлекса молоковыведения - его кратковременность и диффузный характер (т. е. одновременное выделение молока всеми четвертями вымени).

Электрификация животноводческих ферм благоприятствует внедрению машинного доения коров.

Здесь имеет место система Ч - М - Ж (человек - машина - животное).

Время от получения внешнего сигнала до активного припуска молока у коровы составляет около 45 с. За это время должны быть выполнены все операции по подготовке вымени и включен в работу доильный аппарат. Это требование особенно важно потому, что окситоцин действует в крови непродолжительное время (4-6 мин.), после чего его действие заканчивается, что вызывает прекращение процесса молокоотдачи.

Процесс молокоотдачи протекает относительно быстро; доение коровы должно быть закончено не более чем за 4-6 мин. Динамика процесса молокоотдачи представлена на рисунке 1.2.

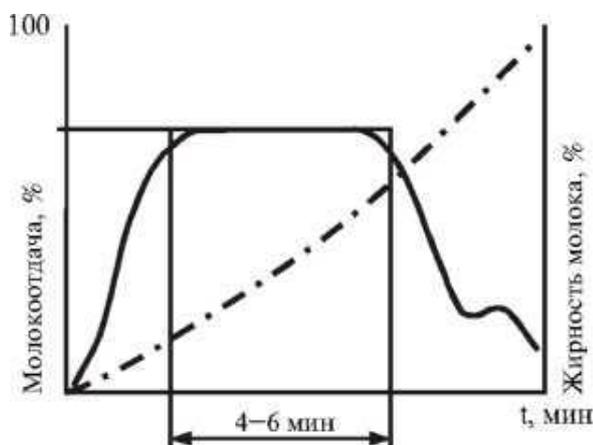


Рисунок 1.2 - Изменение интенсивности молокоотдачи и жирности молока по времени доения

В начале доения скорость молоковыведения быстро возрастает и достигает максимального значения. Затем она постепенно снижается. За 4-6 мин. доильный аппарат должен полностью вывести молоко из вымени. Необходимо отметить, что последние порции молока имеют наибольшую жирность (10-12%).

К технологии машинного доения животных предъявляются следующие основные физиологические требования:

1. Выработать у животного полноценный и устойчивый рефлекс молокоотдачи при машинном доении (первое и самое важное требование физиологии). Это достигается надлежащей подготовкой вымени и правильной организацией работы дояра, созданием внешних благоприятных факторов.

2. Доильный аппарат должен оказывать стимулирующее воздействие на организм животного (пример - доильный аппарат АДС-1, разработанный учеными Сибирского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства).

3. Правильно организовать проведение подготовительных, основных и заключительных операций.

4. Процесс доения вакуумной доильной машиной при максимальной скорости выведения молока должен быть безопасным для молочной железы.

1.3 Способы и технология машинного доения коров

В настоящее время при доении коров используются два принципа воздействия на сосок вымени; отсасывание и выжимание. Отсасывание может быть естественным (сосание теленком) и машинным (отсасывание доильным аппаратом). Выжимание - ручным (выжимание молока из вымени руками доярки) и машинным (выжимание молока доильным аппаратом).

Практика и научные исследования показали, что наиболее приемлемым принципом машинного доения является тот, который по своему воздействию на вымя коровы близок к естественным действиям теленка при сосании.

Действие теленка. При сосании в полости рта теленка периодически создается разрежение (вакуум), чередующееся со сжатием соска в момент заглатывания отдельных порций молока. При этом вакуум достигает 37 кН/м^2 (280 мм рт. ст.), а частота пульсаций колеблется от 45 до 70 в минуту. В процессе сосания теленок часто меняет соски и периодически как бы массирует вымя, подталкивая его головой.

Следовательно, доильная машина должна удовлетворять именно этим физиологическим требованиям.

В нашей стране доильные машины работают по принципу прерывистого отсасывания молока, т. е. по принципу создания под сосками вымени коровы переменного вакуума. Одни из них осуществляют рабочий процесс за два такта: такт сосания и такт сжатия или такт сосания и такт отдыха и называются двухтактными, а другие за три такта (сосание, сжатие и отдых) и носят название трехтактных.

Требованиям физиологии животного в большей степени отвечает трехтактный режим работы. Он обеспечивает стимуляцию процесса молокоотдачи и не опасен для здоровья животного при случайной передержке доильных стаканов на вымени коровы.

Двухтактный режим работы по времени воздействия вакуума на соски вымени коровы является более напряженным. К концу доения стаканы нередко

наползают на вымя, втягивая соски глубоко внутрь, ухудшая тем самым условия извлечения последних порций молока и восстановления нормального кровообращения в сосках. После прекращения истечения молока (при передержке доильных стаканов на вымени) нежные ткани канала сжатого соска за счет трения друг о друга могут вызывать воспаление молочной железы (мастит).

Применение двухтактных доильных машин продиктовано не наиболее оптимальным режимом доения, а необходимостью повышения скорости доения.

Технология машинного доения коров включает в себя 3 группы операций:

1. Подготовительные операции - обмывание вымени теплой водой ($t = 40-45\text{ }^{\circ}\text{C}$); обтирание и массаж вымени; сдаивание первых струек молока в отдельную посуду; включение в работу доильного аппарата и надевание доильных стаканов на соски животного. Все подготовительные операции должны быть выполнены не более чем за 60 секунд.

2. Основные операции - машинное доение (4-6 мин.) и машинный додой (25-30 с - оттягивание доильных стаканов вниз и вперед с одновременным массажем).

3. Заключительные - отключение доильного аппарата и снятие доильных стаканов с вымени. Обработка вымени.

Технологическая скорость доения - пропускная, или отсасывающая, способность доильного аппарата. Ее величина целиком определяется техническими параметрами доильной машины.

Действительная скорость доения - фактическое количество молока, полученное доильным аппаратом в процессе доения за единицу времени. Ее величина зависит от совершенства доильного аппарата и от соответствия его требованиям физиологии.

Основное требование динамики работы доильного аппарата заключается в том, чтобы в течение всего периода доения скорость молоковыведения аппаратом была равна скорости молокоотдачи. В самом начале доения достаточно иметь небольшой по времени такт сосания. Далее, по мере роста молокоотдачи, длительность такта сосания должна быть максимальной.

Однако современные доильные аппараты работают в одном режиме с постоянной технологической скоростью, что является серьезным их недостатком.

Из анализа процесса молокоотдачи следует, что необходимо создать доильный аппарат с автоматическим регулированием процесса доения в зависимости от интенсивности молокоотдачи.

1.4 Зоотехнические требования на доильные машины

Требования к доильным машинам на основе накопленного практического опыта и результатов исследований, проведенных в нашей стране и за рубежом, разработаны В. Ф. Королевым и сводятся к следующему:

1. Обеспечить стимуляцию молокоотдачи и полное выведение молока из вымени без ручного додаивания.
2. Наиболее полно отражать механизм действия сосательного аппарата теленка и работу рук доярок.
3. Иметь средства регулировки положительного и отрицательного давлений (1,3 - 10,6 кН/м²), а также числа пульсаций (40 - 120 в мин).
4. Обеспечивать возможность полного отвода молока от сосков в период наибольшего выделения его из вымени в первые минуты доения, когда у некоторых коров за одну минуту может быть выдоено около 50% молока всего удоя (до 5 - 6 л).
5. Исключить наползание доильных стаканов во время доения на вымя и пережимание верхнего устья соскового канала.
6. Обеспечивать полную безопасность для животных при случайной передержке доильных стаканов на сосках вымени.
7. Не создавать шума.
8. Иметь высокую эксплуатационную надежность и быть простыми в обслуживании.

1.5 Доильные аппараты и их классификация

Первые попытки механизации доения коров были осуществлены с помощью соломинок (1719 г.), а позднее (1836 г.) - металлических трубок, называемых катетерами.

Затем был предложен ряд приспособлений для этой цели - в виде валиков, пластинок, роликов, механических пальцев и др. Однако эти приспособления не нашли распространения, так как не облегчали труд дояра, а, наоборот, увеличивали объем работ по сравнению с ручным доением и беспокоили коров.

В 1851 году в Англии была предложена первая высасывающая доильная машина, работающая на постоянном вакууме.

В 1885 году в Шотландии создали доильный аппарат, действующий на переменном вакууме. Пульсация достигалась соответствующим вакуумным насосом.

Это явилось отправной точкой в разработке и создании современных доильных аппаратов.

В нашей стране начало развития машинного доения относится к 20-м годам прошлого столетия.

Доильный аппарат является основной частью доильной установки.

Классификация доильных аппаратов:

1. По характеру силы, используемой для извлечения молока:

- отсасывающие;
- выжимающие.

2. По типу исполнительного органа:

- однокамерные;
- двухкамерные;
- трехкамерные.

3. По приводу исполнительного органа:

- синхронного действия;
- попарного действия;
- почетвертного действия.

4. По принципу работы:

- двухтактные;
- трехтактные;
- четырехтактные;
- непрерывного отсоса;
- изменяющие принцип работы.

5. По режиму работы:

- с постоянными параметрами;
- с регулируемыми параметрами;
- с программным управлением.

В свою очередь аппараты с регулируемыми параметрами бывают:

- с изменением числа пульсаций;
- с изменением соотношения тактов;
- с изменением рабочего вакуума;
- с изменением веса подвесной части аппарата;
- с комбинированным изменением параметров.

6. По характеру сбора молока:

- в доильное ведро;
- в молокопровод;
- в подвижную емкость;
- раздельно из каждой четверти.

Из анализа динамики процесса доения можно сформулировать основные требования, которым должен удовлетворять современный доильный аппарат:

1) работать в переменном режиме в зависимости от интенсивности молокоотдачи, обеспечивая в каждый момент времени оптимальную скорость доения;

2) обеспечивать стимуляцию рефлекса молокоотдачи;

3) быть абсолютно безопасным в случаях передержки стаканов на сосках животного;

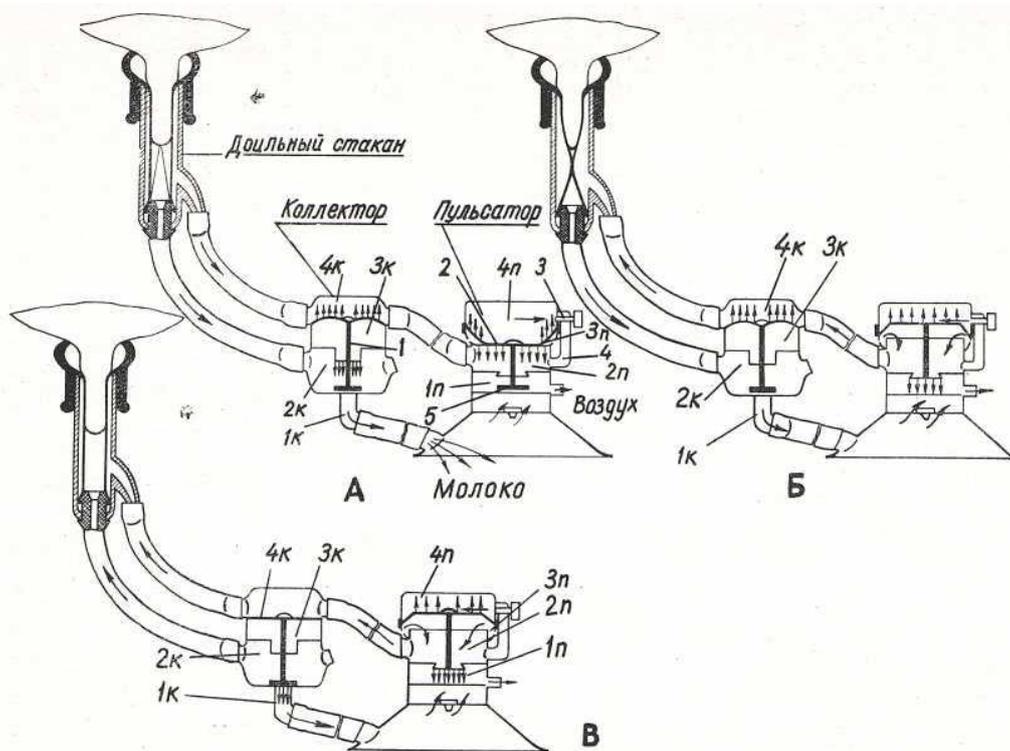
4) оборудованность средствами сигнализации об окончании процесса доения и устройствами для автоматического отключения.

1.6 Основы теории и расчет доильных аппаратов

Широкое распространение на фермах колхозов и совхозов получили доильные аппараты трехтактного действия.

Каждый из этих аппаратов независимо от их марки состоит из четырех двухкамерных доильных стаканов, коллектора, пульсатора, доильного ведра с крышкой и резиновых патрубков, соединяющих перечисленные части.

Работа доильного аппарата осуществляется при взаимодействии доильных стаканов, коллектора и пульсатора. Схема работы представлена на рисунке 1.3.



а – сосание; б – сжатие; в – отдых; 1 - двойной клапан коллектора; 2 – мембрана; 3 – регулировочный винт; 4 – канал; 5 – нижний клапан пульсатора
Рисунок 1.3 – Схема работы трехтактного доильного аппарата «Волга»

Пульсатор служит для преобразования постоянного разрежения, создаваемого вакуум-насосом, в переменное (пульсирующее), при котором разрежение периодически сменяется атмосферным давлением. Он соединяет межстенное пространство доильного стакана то с разрежением, то с атмосферой.

Действие пульсатора, т. е. автоматический подъем и опускание клапана 5 (рисунок 1.3), осуществляется следующим образом.

При включении вакуума клапан 5 (рисунок 1.3, а) опускается вниз, и вакуум из магистрали быстро передается в камеру 2п. В камере 4п в это время давление равно атмосферному (1 атм. = $1,01 \cdot 10^5$ Н/м², или 760 мм рт. ст. - среднему атмосферному давлению на уровне моря, или 1,033 кг/см²; 1 мм рт. ст. = 133 Н/м²).

Сила, действующая на клапан по направлению сверху вниз, будет равна произведению площади клапана на разность давлений:

$$P_{B.K.} = F_{B.K.} \cdot h, \quad (1.1)$$

где $P_{B.K.}$ - сила, действующая на клапан сверху вниз, Н;

$F_{B.K.}$ - площадь верхнего клапана (неполная нижняя площадь мембраны - площадь мембраны против камеры 2 п), м²;

h - номинальный вакуум, при котором работает пульсатор, Н/м², или разность давлений в камерах 4п и 2 п, равная $x - (x - h)$, где x - давление атмосферного воздуха Н/м²; $(x - h)$ - давление разреженного воздуха в камере 2п, Н/м².

Через специальный канал 4 воздух из камеры 4п постепенно отсасывается в камеру 2п и разрежение распространяется в камеру 4 п. По мере увеличения разрежения в камере 4п сила $P_{B.K.}$, прижимающая мембрану 2 вниз, уменьшается, и одновременно возникает и растет сила P_M , действующая на мембрану снизу вверх со стороны камеры 3п постоянного атмосферного давления.

Вследствие наличия разности давлений атмосферного воздуха в камере 3п и разреженного в камере 4п, сила P_M будет равна:

$$P_M = F_M \cdot h_1, \quad (1.2)$$

где P_M - сила, действующая на мембрану снизу вверх, Н/м²;

F_M - площадь мембраны, м²;

h_1 - верхний предел разрежения (наибольший вакуум) в камере 4п, Н/м².

Пренебрегая массой стержня с клапанами и силой упругости мембраны, можно считать, что переключение клапанов произойдет при равенстве сил:

$$P_{B.K.} = P_M; F_{B.K.} \cdot h = F_M \cdot h_1. \quad (1.3)$$

После переключения клапанов верхний клапан открывается (рисунок 1.3., б), а нижний 5 закрывает нижнее отверстие камеры 2п. Камера 2п быстро за-

полняется воздухом из камеры 3п и в ней устанавливается атмосферное давление. При таком положении клапанов верхний из них со всех сторон окружен воздухом, находящимся под атмосферным давлением, поэтому сила, действующая на него, равна нулю. Возникает новая сила $P_{н.к.}$, действующая на нижний клапан сверху вниз, так как над клапаном установилось атмосферное давление, а снизу - разрежение h . Сила $P_{н.к.}$ будет равна:

$$P_{н.к.} = F_{н.к.} \cdot h, \quad (1.4)$$

где $P_{н.к.}$ - сила, действующая на нижний клапан сверху вниз, Н;

$F_{н.к.}$ - площадь нижнего клапана, м²;

h - номинальный вакуум, при котором работает пульсатор, Н/м².

Постепенно воздух из камеры 2п поступает в камеру 4п. Сила, действующая на мембрану 2 вверх, уменьшается. Через некоторый промежуток времени наступает равновесие сил, действующих на мембрану снизу вверх и на нижний клапан - сверху вниз, т. е.

$$P_{н.к.} = P_M; F_{н.к.} \cdot h = F_M \cdot h_2, \quad (1.5)$$

где h_2 - нижний предел разрежения в камере 4п, Н/м².

При дальнейшем уменьшении разрежения в камере 4п стержень с клапанами переместится вниз, нижний клапан откроется, а верхний закроется, т. е. камера 2п закроется сверху мембраной и в ней образуется разрежение. Затем весь процесс в пульсаторе повторяется.

Таким образом, с помощью выведенных уравнений равновесия сил по размерам площадей мембраны и клапанов и по значению разрежения h можно подсчитать пределы изменения вакуума в управляющей камере 4п:

$$\frac{F_{в.к.}}{F_{н.к.}} = \frac{D_1^2}{D_2^2} = \frac{h_1}{h_2}, \quad (1.6)$$

где D_1 - диаметр верхнего сечения камеры 2п, которое перекрывается верхним клапаном, м;

D_2 - диаметр нижнего клапана, м.

В существующих доильных аппаратах разрежение в камере 4п пульсатора изменяется в пределах от h_1 до h_2 и, как показывают расчеты, не выходит за пределы 50% от h .

Частота переключений клапанов зависит от размера регулируемого сече-

ния клапана 4. Чем больше это сечение, т. е. чем больше отвернут регулировочный винт 3, тем больше будет и частота пульсаций, так как на установление необходимого давления в управляющей камере 4п потребуется меньше времени.

Коллектор в трехтактном доильном аппарате (рисунок 1.3.) служит для сокращения такта сжатия и обеспечения такта отдыха, а также для сбора молока из всех четырех доильных стаканов.

Действие коллектора происходит автоматически, принудительно от пульсатора и сводится к периодическому подъему и опусканию двойного клапана 1. Когда разрежение передается из камеры 2п переменного вакуума пульсатора (рисунок 1.3, а) в камеру 4к переменного вакуума коллектора, мембрана, вследствие разности давлений в камерах 3к и 4к коллектора, поднимается вверх и, увлекая за собой стержень, закрывает верхний клапан и открывает нижний.

В это время на мембрану действует снизу вверх сила:

$$P_{M.K.} = F_{M.K.} \cdot h, \quad (1.7)$$

где $P_{M.K.}$ - сила, действующая на мембрану снизу вверх, Н;

$F_{M.K.}$ - площадь мембраны, m^2 ;

h - рабочий вакуум аппарата, H/m^2 .

Одновременно на закрытый верхний клапан коллектора сверху вниз действует сила

$$P_{B.K.K.} = F_{B.K.K.} \cdot h, \quad (1.8)$$

где $P_{B.K.K.}$ - сила, действующая на закрытый верхний клапан сверху вниз, Н;

$F_{B.K.K.}$ - площадь верхнего клапана коллектора, m^2 ;

h - рабочий вакуум аппарата, H/m^2 .

Так как $P_{M.K.} > P_{B.K.K.}$, то верхний клапан плотно прижимается к нижнему сечению камеры 3к коллектора.

При таком положении клапанов коллектора вакуум из камеры 1к через камеры 2к поступает в подсосковые камеры доильных стаканов, а из камеры 4к в межстенные пространства стаканов. Происходит такт сосания.

В следующий момент в камеру 4к коллектора и далее в межстенные пространства стаканов из пульсатора пойдет воздух с атмосферным давлением (рис. 1.3, б). Но в подсосковых камерах все еще держится вакуум, поэтому сосковая резина сжимается, и процесс истечения молока прекращается. Происходит такт сжатия.

Затем воздух из пульсатора поступает в камеру 4к коллектора, разрежение в ней уменьшается почти до нуля (нуль разрежения соответствует атмо-

сферному давлению), и сила $P_{м.к.}$, действующая на мембрану снизу вверх, вследствие разности давлений в камерах 3к и 4к, тоже уменьшается. В определенный момент наступает равенство сил $P_{м.к.}$ и $P_{в.к.к.}$ или

$$F_{м.к.} \cdot h' = F_{в.к.к.} \cdot h, \quad (1.9)$$

где h' - вакуум в камере 4к, при котором происходит переключение клапанов (опускание вниз) коллектора, Н/м².

h - рабочий вакуум аппарата, Н/м².

В следующий момент сила $P_{м.к.}$ становится меньше силы $P_{з.к.к.}$, стержень с клапанами опускается вниз (рисунок 1.3, в) и соединяет камеру 3к атмосферного давления коллектора с камерой 2к переменного вакуума. В результате этого в подсосковые камеры стаканов также поступает воздух с атмосферным давлением. Происходит такт отдыха.

Таким образом, такт сжатия обеспечивается тем, что давление в межстенном пространстве становится равным атмосферному давлению раньше, чем в подсосковой камере. Такт отдыха обеспечивается равенством давлений в подсосковых камерах и межстенных пространствах доильных стаканов.

Нижний клапан коллектора вновь открывается только после того, как наступает равенство

$$F_{в.к.к.} \cdot h = F_{м.к.} \cdot h'', \quad (1.10)$$

где $F_{н.к.к.}$ - площадь нижнего клапана коллектора, м²;

h - рабочий вакуум аппарата, Н/м²;

$F_{м.к.}$ - площадь мембраны коллектора, м²;

h'' - вакуум в камере 4к, при котором происходит переключение клапанов (подъем вверх) коллектора, Н/м²

Вакуум h' и h'' определяются по формулам:

$$h' = \frac{F_{в.к.к.} \cdot h}{F_{м.к.}} \quad \text{и} \quad h'' = \frac{F_{н.к.к.} \cdot h}{F_{м.к.}}.$$

По окончании такта отдыха в камеру 4к коллектора из пульсатора снова передается вакуум, мембрана поднимается вверх и весь процесс, происходящий в коллекторе, повторяется.

1.7 Доильные установки и их классификация

В настоящее время для доения коров применяют самые различные доильные установки. Выбор того или иного типа доильных установок зависит от размера фермы, продуктивности животных, способа их содержания, климатических условий.

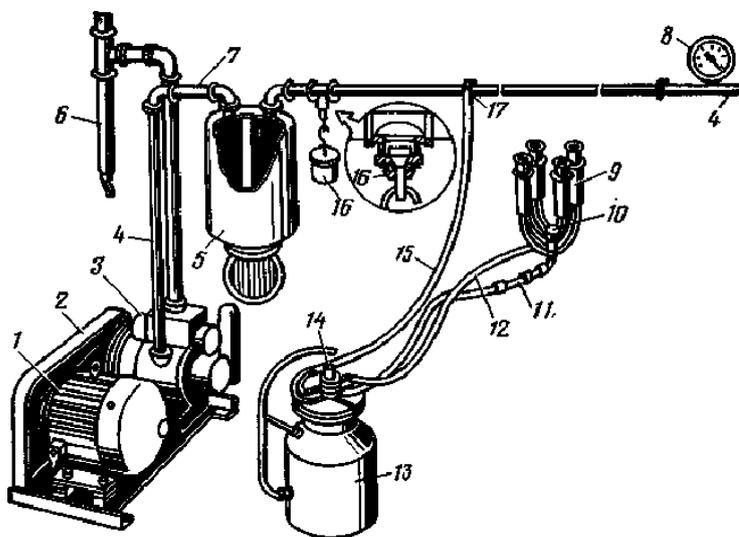
Доильные установки делятся на 3 основных типа:

1. Доильные установки для доения коров в стойлах со сбором молока в ведро или через молокопровод в общую емкость.

2. Доильные установки для доения коров на доильных площадках или в специальных помещениях (доильных залах) со сбором молока через молокопровод в общую емкость.

3. Доильные установки для доения коров на пастбищах со сбором молока в ведра или через молокопровод в общую емкость.

Принципиальная схема доильной машины показана на рисунке 1.4.



1 - электродвигатель; 2 - ограждение; 3 - вакуум-насос; 4 - вакуум-магистраль; 5 - вакуум-баллон; 6 - маслоотделитель; 7 - электрическая вставка; 8 - вакуумметр; 9 - доильный стакан; 10 - коллектор; 11 - молочный шланг; 12 - вакуумный шланг; 13 - доильное ведро; 14 - пульсатор; 15 - магистральный шланг; 16 - вакуум-регулятор; 17 - воздушный кран

Рисунок 1.4 - Схема доильной машины

Установки для доения в стойлах

- а) с переносными доильными аппаратами;
- б) с передвижными доильными аппаратами;
- в) передвижные с питанием электрического двигателя вакуумного насоса через гибкий кабель;

г) с молокопроводом, проложенным вдоль стойл.

К этой группе относятся: доильные агрегаты АД-100А; ДАС-2Б; доильные установки АДМ-8, АДМ-Ф-20 (30, 40, 50). Их применяют при привязном содержании животных.

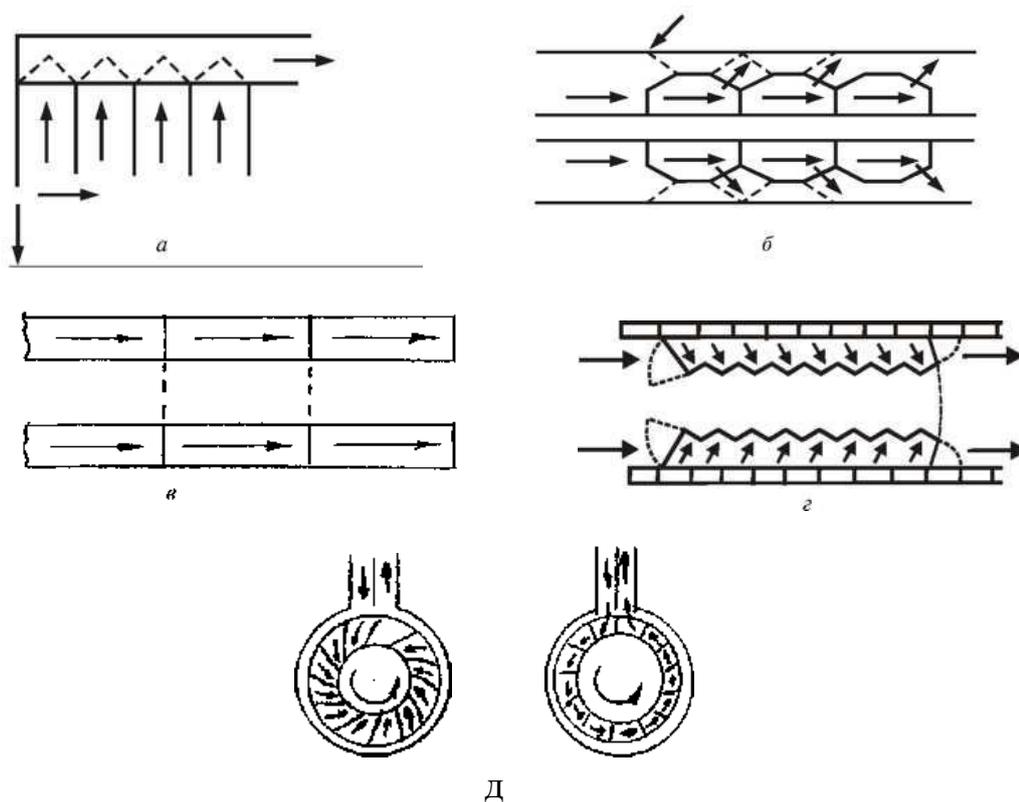
Установки для доения коров в специальных помещениях

Их применяют при беспривязном и привязном содержании коров. Эти доильные установки оснащены доильными станками, которые монтируют в доильном помещении или на площадке.

В зависимости от конструкции доильных станков установки бывают:

- а) с индивидуальными доильными станками;
- б) с групповыми станками;
- в) конвейерные доильные установки.

Схемы установок показаны на рисунке 1.5.



а - с параллельными станками; б - типа «Тандем» с боковым заходом; в - типа «Тандем» с проходными станками; г - типа «Елочка»; д - конвейерного типа

Рисунок 1.5 - Схемы доильных установок:

Установки с индивидуальными доильными станками позволяют входить и выходить из него каждой корове независимо от других (обеспечен индивидуальный подход к каждой корове). К ним относятся установки с параллельными станками (рисунок 1.5, а) и типа «Тандем» с боковым заходом (рисунок 1.5, б).

Установки с групповыми станками. Здесь вход и выход животных осуществляется только группами. К ним относятся доильные установки типа «Тандем» с проходными станками (рисунок 1.5, в) и «Елочка» (рисунок 1.5, г). Применение установок типа «Елочка» позволяет уменьшить площадь доильного зала в сравнении с «Тандемом» и увеличить производительность труда (за счет сокращения переходов доярок).

Конвейерные установки позволяют доить коров в ритме конвейера непрерываемого действия, что открывает большие возможности повышения производительности труда. Кроме того, конвейерный процесс доения обладает значительными возможностями технологического совершенствования. Эффективны на крупных молочных фермах и комплексах (рисунок 1.5, д). К ним относятся шведские системы «Юникар» и «Юнилактор». Здесь коровы содержатся в специальных передвижных стойлах-клетках, которые перемещаются по определенному графику. Каждое стойло оборудовано кормушкой, емкостью с водой, автопоилкой и навозоприемником. Тележки с коровами в период отдыха находятся в стойловом помещении. Затем при движении тележек (рабочий цикл) автоматически заполняются кормушки, открывается поддон навозоприемника, заполняется бак водой. Далее тележки подъезжают к доильной площадке, где осуществляется выдаивание коров. После этого коровы вновь возвращаются на место отдыха. Преимущества - высокая производительность труда (нагрузка на 1 дояра доводится до 120-180 коров). Недостатки - большие затраты на строительство и быстрый износ животных (в течение 4-5 лет), т. к. нарушается обмен веществ, атрофируются мышцы.

Установки для доения коров на пастбищах и в летних лагерях

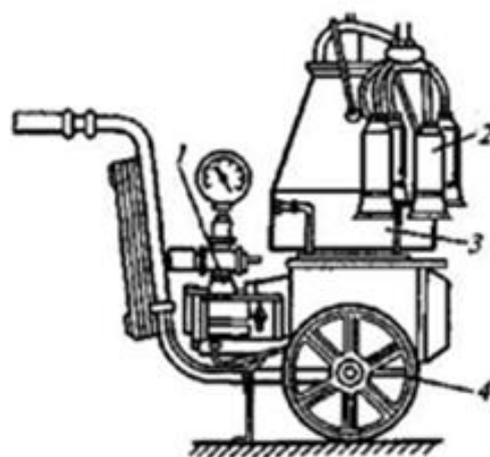
Для этой цели специально выпускается универсальная доильная станция УДС-3А. Конструкция ее позволяет осуществлять быструю сборку и разборку. Для доения коров в летних лагерях предназначена доильная установка УДЛ-Ф-12.

Также в нашей стране начат выпуск индивидуальных передвижных доильных установок, оснащенных доильным аппаратом двойного действия «Нурлат». Общий вид такой установки показан на рисунке 1.6.

Для механизации процесса доения коров в личных подсобных хозяйствах и на малых фермах (10-20 коров) предназначен агрегат индивидуального доения АИД-1-02 (рис. 1.7).



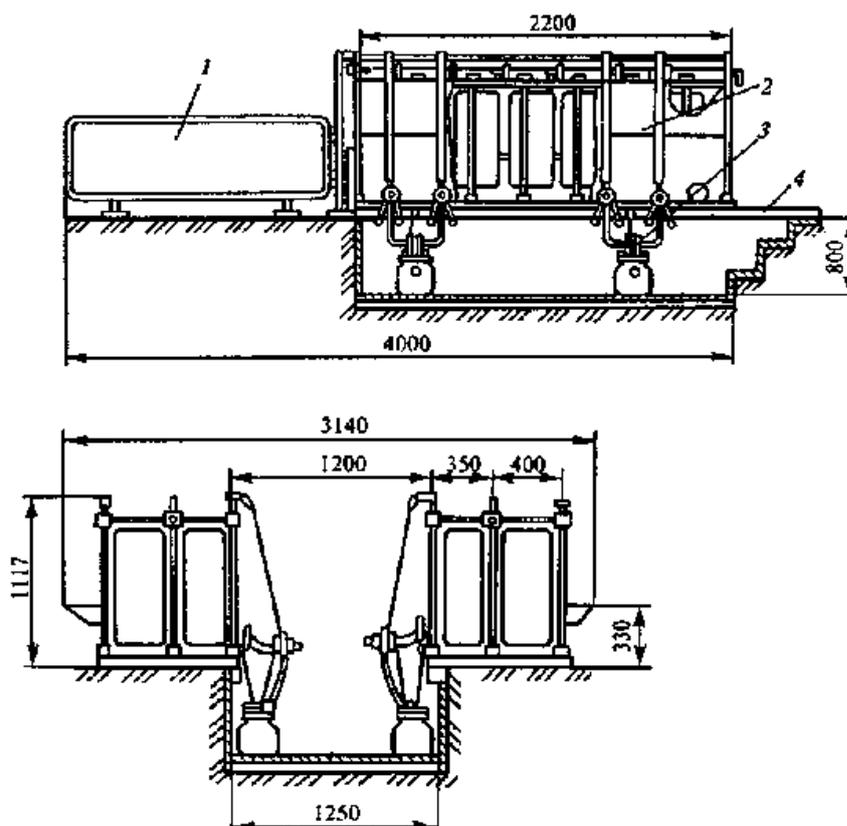
Рисунок 1.6 - Общий вид передвижной доильной установки с аппаратом «Нурлат»



1 - вакуумная установка; 2 – доильный аппарат; 3 - доильное ведро; 4 – тележка

Рисунок 1.7 - Агрегат для индивидуального доения коров АИД-1-01

Для механизации доения овец выпускаются модульные доильные установки для овцеферм. Такая установка позволяет организовать заход овец на платформу для доения, автоматическую индивидуальную фиксацию их у кормушек, доение, групповую расфиксацию после доения (рисунок 1.8).



1 - раскол; 2 - доильная платформа; 3 - доильный аппарат с ведром; 4 - вакуум-провод

Рисунок 1.8 - Модульная доильная установка для овец

1.8 Классификация, основы расчета и характеристики вакуумных насосов

Вакуумный насос предназначен для создания вакуума (разряжения) в системе за счет откачивания из нее воздуха. Вакуумный насос является движущей силой любого доильного оборудования.

Классифицируются вакуумные насосы следующим образом:

1. По конструкции:

- поршневые;
- инжекторные;
- кулачковые;
- ротационные.

В свою очередь ротационные насосы подразделяются на 4 типа:

- пластинчатые;
- водокольцевые;
- с катящимся поршнем;
- двухроторные.

2. По величине создаваемого разряжения:

- насосы низкого вакуума;
- насосы среднего вакуума;
- насосы высокого вакуума.

3. По назначению:

- «сухие» (для отсасывания газов);
- «мокрые» (для отсасывания газа вместе с жидкостью).

4. По характеру использования:

- стационарные;
- передвижные.

До 1952 года доильные установки в нашей стране комплектовались вакуумными насосами поршневого типа. Они отличались большими размерами и металлоемкостью, имели быстроизнашивающиеся механизмы - кривошипно-шатунный и механизм воздухораспределения.

В настоящее время на доильных установках получили наибольшее распространение ротационные лопастные насосы марок РВН-40/350; УВУ-60/45; ВЦ-40/130 и др.

Принципиальная схема ротационного вакуумного насоса приведена на рисунке 1.9.

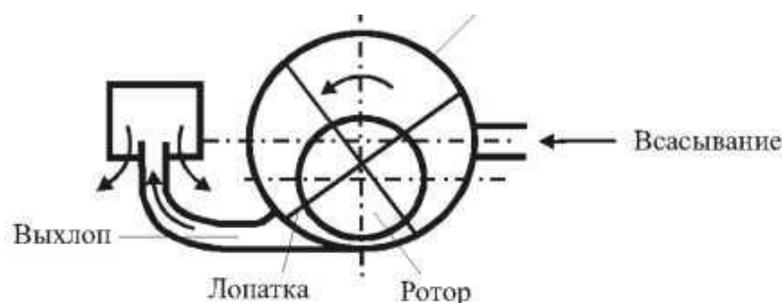


Рисунок 1.9 - Схема ротационного вакуумного насоса

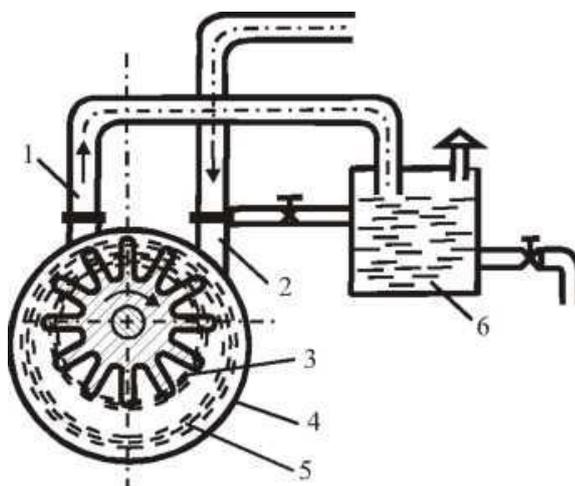
Производительность РВН-40/350 при вакууме 50 кПа составляет 11,1 дм³/с (40 м³/ч). Механический к.п.д. составляет 0,8-0,9.

Унифицированная вакуумная установка УВУ-60/45 может работать в двух режимах: при вакууме 53 кПа обеспечивать производительность 60 или 45 м³/ч (достигается изменением частоты вращения ротора путем замены шкива клиноременной передачи на валу электрического двигателя).

Схема водокольцевого вакуумного насоса (ВВН) показана на рисунке 1.10.

Основными преимуществами таких насосов в сравнении с ротационными являются отсутствие трущихся рабочих органов и высокая производительность.

Уплотнение между ротором и статором достигается слоем воды.



1 - выхлопная труба; 2 - вакуумный провод; 3 - ротор; 4 - статор; 5 - водяное кольцо; 6 - охладитель воды

Рисунок 131.10 - Схема водокольцевого вакуумного насоса

Однако эти насосы обладают низким к.п.д. (0,48-0,52), сложны в эксплуатации и могут работать только при положительных температурах.

Ведущими зарубежными производителями доильной техники выпускаются вакуумные насосы с рециркуляционной системой смазки.

К таким конструкциям относятся насосы, разработанные фирмами «DeLaval» и «Westfalia Landtechnik» (рисунок 1.11).

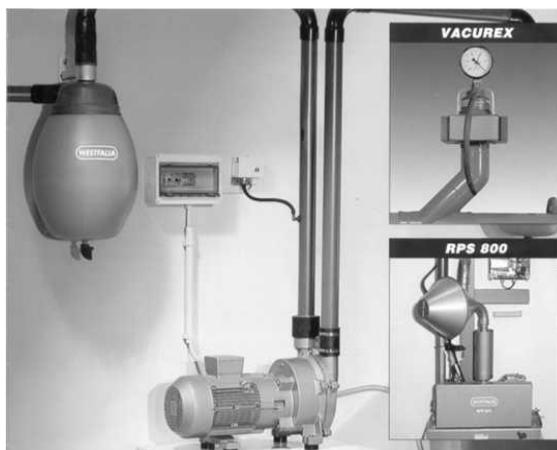


Рисунок 1.11 - Общий вид вакуумной установки фирмы «Westfalia Landtechnik» с рециркуляционной системой смазки

Такие насосы имеют высокую эксплуатационную надежность, существенно снижают количество выделений масла в атмосферу и уровень шума.

Основными характеристиками вакуумных насосов являются производительность, металлоемкость и энергоемкость.

1.9 Определение расхода воздуха доильной машиной

Расход воздуха доильным аппаратом зависит от размера вакуума, частоты пульсаций и емкости камер и трубок, в которых действует переменный вакуум. Объем воздуха, откачиваемый за одну пульсацию и приведенный к атмосферному давлению, составляет:

$$V_{np} = V_1 \frac{h}{p}, \quad (1.11)$$

где V_{np} – объем воздуха, откачиваемый из доильного аппарата за одну пульсацию, м^3 ;

V_1 – суммарный объем всех камер и трубок переменного вакуума доильного аппарата, м^3 ;

h – значение вакуума по вакуумметру, являющееся разностью атмосферного и остаточного давлений, Н/м^2 ;

p – барометрическое (атмосферное) давление, Н/м^2 .

Если рабочий вакуум равен $5,05 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ (380 мм рт. Ст.), а $p = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ (760 мм рт. Ст.), то

$$V_{np} = 0,5V_1,$$

т. е. необходимо откачать половину всего воздуха, находящегося в камерах и трубках переменного вакуума при атмосферном давлении.

Однако вследствие несовершенства конструкции коллектора и пульсатора, износа деталей и т. Д. действительный расход воздуха доильным аппаратом будет примерно на 35% выше, т. Е.

$$V_{дейст.} = 1,35V_{np}, \quad (1.12)$$

где $V_{дейст.}$ – действительный расход воздуха доильным аппаратом за одну пульсацию, м^3 .

Тогда часовой расход воздуха комплектом доильных аппаратов составит:

$$V = 60V_{дейст.} \cdot r \cdot z, \quad (1.13)$$

где V – расход воздуха комплектом доильных аппаратов, $\text{м}^3/\text{ч}$;

r – число пульсаций, пульс/мин.;

z – количество доильных аппаратов в комплекте.

Расход воздуха всей вакуумной системой доильной машины или требуемую производительность вакуум-насоса определяют по опытным данным, учитывая имеющиеся в системе подсосы, по формуле:

$$Q = V + V(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6), \quad (1.14)$$

где Q – расход воздуха всей вакуумной системой доильной машины (потребная производительность вакуум-насоса), м³/ч;

V – расход воздуха комплектом доильных аппаратов, м³/ч;

α_1 – коэффициент, учитывающий утечки воздуха в соединениях труб и пробковых кранах, 0,1;

α_2 – коэффициент, учитывающий просос воздуха между соском и сосковой резиной, 0,05;

α_3 – коэффициент, учитывающий впуск воздуха при надевании доильных стаканов, 0,2;

α_4 – коэффициент, учитывающий утечку воздуха при случайном спадении шлангов, 0,25;

α_5 – коэффициент, учитывающий падение производительности вакуумного насоса от его нагрева и разжижения смазки, 0,2;

α_6 – коэффициент, учитывающий падение производительности при работе летом в районах с жарким климатом, 0,2.

Сумма всех коэффициентов составляет:

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 = 1.$$

Таким образом, потребная производительность вакуум-насоса должна быть в 2 раза больше необходимого расхода воздуха для работы доильных аппаратов.

1.10 Расчет вакуумных насосов

Для создания разрежения (вакуума) в системе доильной машины применяют вакуумные насосы низкого вакуума от $4,7 \cdot 10^4$ Н/м² (350 мм рт. ст.) до $6,6 \cdot 10^4$ Н/м² (500 мм рт. ст.), которые бывают поршневые и ротационные.

Поршневые насосы отличаются простотой изготовления и ремонта, но сложны в обслуживании. Ротационные насосы (рисунок 1.12) требуют большей точности в изготовлении, но они надежнее в эксплуатации и уход за ними проще.

Производительность поршневого вакуум-насоса определяется по формуле:

$$Q_n = 60\lambda \cdot \frac{\pi D_c^2}{4} \cdot S \cdot n, \quad (1.15)$$

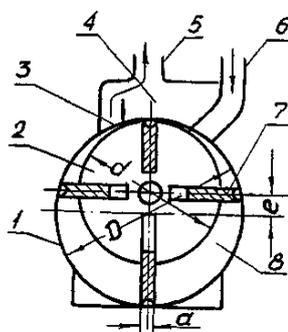
где Q_n - производительность поршневого вакуум-насоса, м³/ч;

λ - коэффициент заполнения цилиндра, равный 0,9;

D_c - диаметр цилиндра, м;

S - ход поршня, м;

n - частота вращения коленчатого вала, об/мин.



1 - корпус; 2 - ротор; 3 - боковые прорезы (окно впуска); 4 - верхняя камера; 5 - выпускная труба; 6 - впускная труба; 7 - лопатка; 8 - боковая камера (ячейка между пластинами)

Рисунок 1.12 - Схема ротационного вакуум-насоса:

Производительность ротационного вакуум-насоса можно определить по формуле (1.15)

$$Q_p = 60\lambda L \left[\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) - z \cdot e \cdot a \right] \cdot n, \quad (1.16)$$

где Q_p - производительность ротационного лопастного вакуум-насоса, м³/ч;

λ - коэффициент заполнения объема статора, равный 0,5-0,8;

L - длина лопаток ротора, м;

D - диаметр статора, м;

d - диаметр ротора, м;

z - число лопаток;

e - эксцентриситет, м;

a - толщина лопаток, м;

n - частота вращения ротора, об/мин.

Исследованиями установлено, что для вакуум-насосов этого типа целесообразны следующие соотношения основных конструктивных и режимных параметров:

диаметр ротора	$d=0,86D$
эксцентриситет	$e=0,07D$
ширина лопаток	$b=Q,27D$
длина лопаток	$L=(1,6-2,1) D$
окружная скорость лопаток	$v =10-11 \text{ м/с.}$

Мощность, потребная на привод вакуум-насоса, рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{M \cdot \omega}{\eta}, \quad (1.17)$$

где N - мощность для привода вакуум-насоса, Вт;

M - крутящий момент на валу ротора, обусловленный сопротивлением всасывания, Нм;

ω - угловая скорость ротора, рад/с;

η - к.п.д. вакуум-силовой установки, равный 0,75-÷-0,85.

Для ротационного насоса с четным числом лопаток крутящий момент составит.

$$M = heDL, \quad (1.18)$$

где M - крутящий момент на валу ротационного вакуум-насоса, Нм;

h - расчетная величина вакуума, Н/м²;

e - эксцентриситет, м;

D - диаметр статора, м;

L - длина лопаток, м.

2 Теория рабочего процесса и расчет охладителей молока

Охлаждение молока имеет большое значение для его сохранения.

Свежевыдоенное молоко обладает свойством в первые 2-3 часа задерживать размножение микроорганизмов и даже уменьшать их количество. Это явление называется бактерицидным свойством молока. Для увеличения продолжительности бактерицидного свойства молока, после получения его необходимо немедленно очистить и охладить, причем охладить молоко нужно не позже чем через 20-30 минут после выдаивания.

При охлаждении молока от 37° до 10°С бактерицидный период увеличивается от 2 до 24 часов, а при охлаждении до 5°С - 36 часов.

Процесс охлаждения молока осуществляется с помощью аппаратов, называемых охладителями молока.

2.1 Зоотехнические требования к аппаратам, применяемым для охлаждения молока

К аппаратам, применяемым для охлаждения молока и жидких молочных продуктов, предъявляются следующие основные требования:

1. Универсальность в отношении возможности охлаждения жидкостей с различными физико-механическими свойствами.
2. Возможность предотвращения бактериального загрязнения продукта во время охлаждения.
3. Удобство очистки, мойки и дезинфекции рабочих органов охладителя после окончания работы.
4. Возможность защиты охлаждаемого продукта от испарения.

2.2 Классификация и конструктивные схемы охладителей молока

Охлаждение молока, сливок и других жидких молочных продуктов осуществляется в ряде хозяйств в специальных ваннах, наполненных льдом и водой, в которые погружают ушаты или фляги с охлаждаемым продуктом. Способ этот прост, но процесс охлаждения протекает медленно, неравномерно и при этом требуется систематическое перемешивание молока.

Более совершенным способом является охлаждение молока с помощью специальных охладителей, позволяющих с меньшими затратами труда охладить молоко быстрее и до более низких температур.

Существующие охладители представляют собой либо отдельные устройства, либо являются составной частью комбинированных очистительно-охладительных или охладительно-пастеризационных установок.

Подразделяются охладители по следующим основным признакам:

1. По характеру соприкосновения продукта с окружающим воздухом - на открытые оросительные и закрытые проточные.
2. По форме - на плоские и круглые.
3. По профилю рабочей поверхности - на трубчатые и пластинчатые.
4. По конструкции - на однорядные и многорядные (пакетные).
5. По числу секций - на односекционные и много секционные.
6. По принципу продвижения продукта - на охладители с продвижением продукта под напором и с использованием вакуума или собственного веса продукта.
7. По направлению движения охлаждающей жидкости по отношению к охлаждаемому продукту - на прямоточные и противоточные.

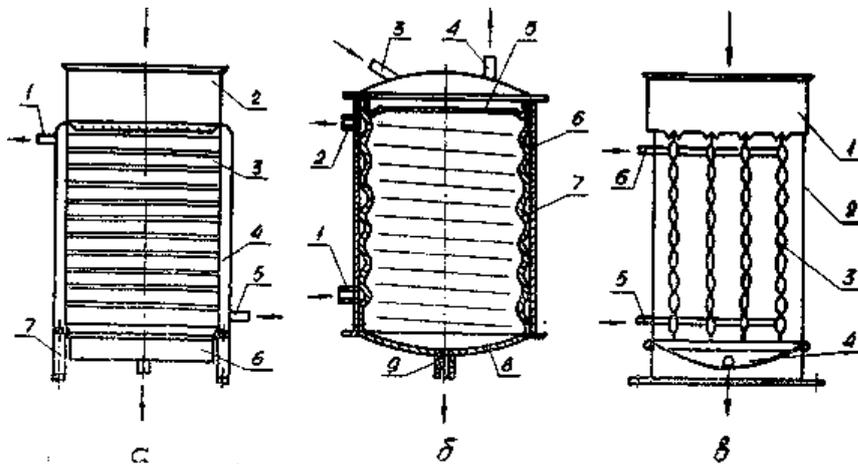
Наиболее распространенным типом молочного охладителя является оросительный аппарат (рис. 3.1.), по внешней поверхности которого охлаждаемое молоко или сливки разливаются тонким слоем, а охлаждающая жидкость (хладагент) движется по закрытым каналам.

Каждый охладитель состоит из распределительного устройства, служащего для равномерного распределения охлаждаемого молока по охлаждающей поверхности аппарата, корпуса охлаждения с охлаждающими поверхностями и сборника молока для приема охлажденного молока с поверхностей охлаждения.

В качестве холодильных агентов, отбирающих через стенки тепло молока, в оросительных охладителях используются вода, вода, охлажденная льдом, и рассол, охлаждаемый с помощью холодильных установок.

2.3 Анализ процесса охлаждения, выбор и расчет охладителей

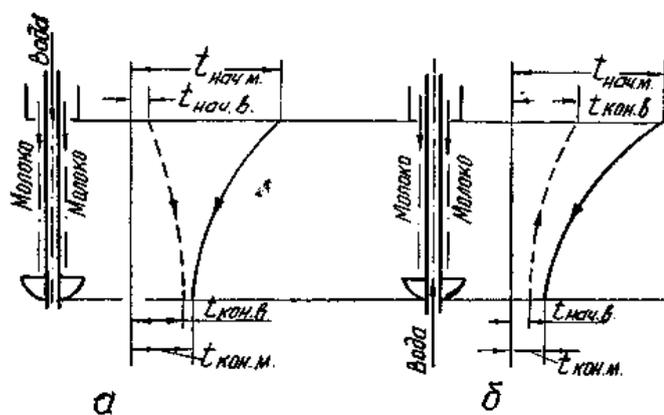
Охлаждение молока в прямоточном охладителе (рисунок 2.1, а) происходит следующим образом. Молоко тонким слоем вытекает из распределительного устройства и протекает снаружи рабочих поверхностей охладителя вниз, внутри же охладителя вниз течет охлаждающая жидкость.



а - плоский трубчатый охладитель: 1 - патрубков для отвода воды; 2 - молокоприемник; 3 - трубы; 4 - коллектор; 5 - патрубков для подвода воды; 6 - молокосорник; 7 - стойка; б - цилиндрический вакуумный охладитель: 1 - патрубков для подвода воды; 2 - патрубков для отвода воды; 3 - патрубков для подачи молока; 4 - патрубков для откачивания воздуха; 5 - распределитель; 6 и 7 - наружный и внутренний цилиндры; 8 - поддон; 9 - патрубков для выхода охлажденного молока; в - пакетный охладитель: г - молокоприемник; 2 - кожух; 3 - щит пакета; 4 - молокосорник; 5 - патрубков для подвода воды; 6 - патрубков для отвода воды.

Рисунок 2.1 - Охладители молока

Вследствие большой разности температур теплообмен вначале протекает довольно интенсивно, а к концу процесса температуры охлаждаемой жидкости и хладагента выравниваются, разность становится равной почти нулю, теплообмен прекращается и дальнейшее, более глубокое охлаждение продукта становится невозможным (рис. 2.2, а).



а - в прямоточном; б - в противоточном

Рисунок 2.2 - Процесс теплообмена в оросительных охладителях:

В противоточном охладителе (рис. 2.2, б) хладагент течет под напором противотоком внутри аппарата. Происходит более интенсивный теплообмен, так как очередной объем свежей охлаждающей жидкости, поступающей в охла-

дитель, вступает в теплообмен с молоком, частично охлажденным в верхней части аппарата. В результате этого охлаждаемый продукт отдает хладагенту большее количество тепла и конечная температура продукта становится почти равной начальной температуре охлаждающей жидкости.

В охладителях этого типа молоко охлаждается до температуры, только на 2-3° превышающей начальную температуру охлаждающей жидкости.

В общем случае количество тепла, отдаваемое продуктом (молоком, сливками, обратом (хладагенту) воде или рассолу), определяется по формуле:

$$Q = M_n \cdot c_n (t_n - t_k), \quad (2.1)$$

где Q - количество тепла, отдаваемого продуктом хладагенту, Вт;

M_n - массовая производительность охладителя, кг/с;

c_n - теплоемкость продукта, Дж/ (кг °С);

t_n и t_k - начальная и конечная температуры продукта, °С.

Для охлаждения M_n кг молока требуется воды или рассола в несколько раз больше.

Отношение затраченного хладагента к количеству охлажденного продукта называется коэффициентом кратности расхода воды или рассола

н - для воды
$$n_e = \frac{M_e}{M_n} = 2,5 - 3,0,$$

для рассола
$$n_p = \frac{M_p}{M_n} = 1,5 - 2,5,$$

где n_b - кратность расхода воды;

M_b - масса затраченной воды, кг;

n_p - кратность расхода рассола;

M_p - масса затраченного рассола, кг.

Если пренебречь незначительными потерями тепла в окружающую среду, то в любом случае работы охладителя будет иметь место следующий тепловой баланс процесса.

Для односекционного охладителя при охлаждении водой

$$Q_m = Q_e = M_n \cdot c_n (t_n - t_k) = n_e \cdot M_n \cdot c_e (t'_k - t'_n), \quad (2.2)$$

а при охлаждении рассолом

$$Q_m = Q_p = M_n \cdot c_n (t_n - t_k) = n_p \cdot M_n \cdot c_p (t_k'' - t_n''), \quad (2.3)$$

где Q_m - тепло, отдаваемое молоком, Вт;

Q_v и Q_p - тепло, отнимаемое водой и рассолом, Вт;

c_v и c_p - теплоемкость воды и рассола, Дж/(кг °С);

t_n и t_k - начальная и конечная температура молока, °С;

t_k' и t_n' - конечная и начальная температура воды, °С;

t_k'' и t_n'' - конечная и начальная температура рассола, °С.

Для двухсекционного охладителя на водяной секции будет:

$$Q_m' = Q_v = M_n \cdot c_n (t_n - t_o) = n_v \cdot M_n \cdot c_v (t_k' t_n'), \quad (2.4)$$

и на рассольной секции

$$Q_m'' = Q_p = M_n \cdot c_n (t_o - t_k) = n_p \cdot M_n \cdot c_p (t_k'' - t_n''), \quad (2.5)$$

где Q_m' и Q_m'' - тепло, отдаваемое молоком на водяной и рассольной секциях, Вт;

t_o - температура молока в конце водяной секции, °С.

Значения t_n , t_k , t_n' и t_n'' обычно бывают известны или заданы, а конечная температура воды t_k' и рассола t_k'' рассчитывается из уравнений теплового баланса.

Выбор охладителя для заданных условий и проектирование новых их конструкций производится по тепловой производительности Q , Вт.

Производительность Q находится в прямой зависимости от величины рабочей поверхности охладителя (F м²), от значения коэффициента теплопередачи [к, Вт/(м² °С)] и средней логарифмической разности температур через его стенку Δt_{cp} и определяется формулой:

$$Q = Fk\Delta t_{cp} M_n \cdot c_n (t_n - t_k) \quad (2.6)$$

где Q - тепловая производительность охладителя, Вт;

F - площадь рабочей поверхности охладителя, м²;

k - общий коэффициент теплопередачи, Вт/(м² °С);

Δt_{cp} - средне логарифмическая разность температур.

Коэффициент теплопередачи k показывает количество тепла, Дж, которое передается через стенку площадью в 1 м^2 за время 1 с при средней разности температур между охлаждаемой и охлаждающей жидкостью в 1° . Он зависит от материала и толщины стенок рабочей поверхности охладителя; свойств жидкостей (вязкость, теплоемкость, теплопроводность и др.), скорости движения жидкостей и их температуры.

Общий коэффициент теплопередачи имеет следующие значения: при охлаждении молока водой $k = 1000 \div 1500$; при охлаждении сливок водой $k = 600 \div 1000$; при охлаждении молока рассолом $k = 700 \div 1100$; при охлаждении сливок рассолом $k = 500 \div 700$.

В течение всего процесса охлаждения молока разность температур непрерывно изменяется. Поэтому при расчетах рекомендуется пользоваться так называемой средне логарифмической разностью температур Δt_{cp} , которая определяется по уравнению Грасгофа:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}}, \quad (2.7)$$

где Δt_{\max} - разность температур между жидкостями в начале процесса;

Δt_{\min} - разность температур между жидкостями в конце процесса.

В развернутом виде эта формула примет вид:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_{н.м} - t_{к.в}) - (t_{к.м} - t_{н.в})}{2,3 \lg \frac{(t_{н.м} - t_{к.в})}{(t_{к.м} - t_{н.в})}},$$

где $t_{н.м}$ - начальная температура молока;

$t_{к.в}$ - конечная температура воды;

$t_{к.м}$ - конечная температура молока;

$t_{н.в}$ - начальная температура воды.

При расчете двухсекционного охладителя значение средней разности температур ведут отдельно для водяной и рассольной секции.

Площадь рабочей поверхности охладителя при заданных значениях $M_{п}$, $c_{п}$, $t_{н}$ и $t_{к}$ определяется из уравнения тепловой производительности. Для односекционного охладителя F будет равна:

$$F = \frac{M_{\Pi} \cdot c_{\Pi} (t_n - t_k)}{k \cdot \Delta t_{cp}}. \quad (2.8)$$

Общая площадь поверхности охлаждения двухсекционного охладителя составит:

$$F = F_B + F_p, \quad (2.9)$$

где F - общая площадь рабочей поверхности охладителя, m^2 ;

F_B - площадь поверхности охлаждения водяной секции, m^2 ;

F_p - площадь поверхности охлаждения рассольной секции, m^2 .

Для водяной секции двухсекционного охладителя площадь рабочей поверхности будет равна:

$$F_B = \frac{M_{\Pi} \cdot c_{\Pi} (t_n - t_0)}{k' \cdot \Delta t'_{cp}}, \quad (2.10)$$

и для рассольной секции:

$$F_p = \frac{M_{\Pi} \cdot c_{\Pi} (t_0 - t_k)}{k'' \cdot \Delta t''_{cp}}, \quad (2.11)$$

где k' - коэффициент теплопередачи на водяной секции, $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

$\Delta t'_{cp}$ - средне-логарифмическая разность температур на водяной секции;

k'' - коэффициент теплопередачи на рассольной секции, $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

$\Delta t''_{cp}$ - средне-логарифмическая разность температур на рассольной секции.

По найденной для заданных условий поверхности охлаждения либо по справочнику подбирают необходимую марку охладителя или определяют конструктивные размеры вновь проектируемого охладителя.

Рабочей или охлаждающей поверхностью плоского трубчатого оросительного охладителя (рисунок 2.3) называется та часть его поверхности, через которую происходит теплообмен. Она определяется по формуле:

$$F = 2(\pi \cdot r - i)l \cdot z, \quad (2.12)$$

где F - рабочая поверхность плоского трубчатого оросительного охладителя, m^2 ;

r - наружный радиус трубы, м;

i - ширина пропаянной части трубы по дуге окружности, м ($i = 0,01745$

$r \alpha$), где α - центральный угол;
 l - рабочая длина трубы (ширина охладителя), м;
 z - число труб.

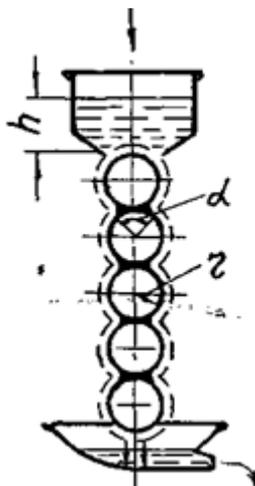


Рисунок 2.3 - К расчету трубчатого оросительного охладителя

Рабочая поверхность двухсекционного круглого оросительного охладителя (рисунок 2.4) составит:

$$F = F_B + F_p,$$

где F - общая площадь рабочей поверхности двухсекционного круглого оросительного охладителя, m^2 ;

F_B и F_p - площадь поверхности охлаждения водяной и рассольной секции, m^2 .

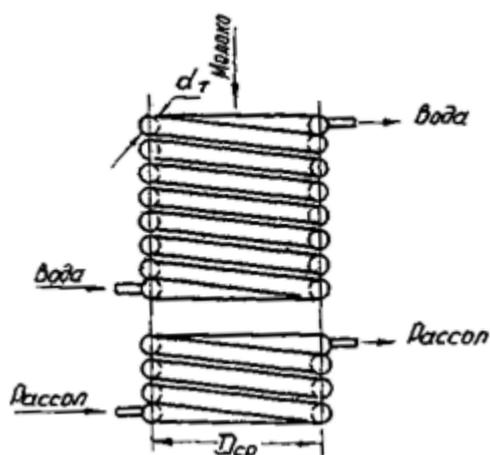


Рисунок - 2.4 - К расчету круглого оросительного охладителя

Пользуясь уравнением сплошности потока для теплоносителя, определяют внутренний диаметр d_T трубы змеевика (гофра) охладителя

$$d_T = \frac{41,8}{\sqrt{v_T}},$$

где d_T - внутренний диаметр трубы змеевика (гофра) охладителя, м;
 v_T - скорость движения теплоносителя в трубе, м/с.

Поверхность охлаждения f , образованная одним витком змеевика, приближенно может быть определена по формуле:

$$f = \pi D_{cp} \cdot b,$$

где f - поверхность охлаждения одного витка змеевика (гофра), м²;
 D_{cp} - средний диаметр змеевика, м;
 $b = \frac{\pi D_{cp}}{2}$ - смоченная теплоносителем ширина витка, м.

Высота охладителя будет равна:

$$H = (z_B + z_p)(d_T + i),$$

где H - высота двухсекционного круглого охладителя, м;

$z_B = \frac{F_B}{f}$ - число витков водяной секции;

$z_p = \frac{F_p}{f}$ - число витков рассольной секции;

d_T - внутренний диаметр трубы змеевика (гофра), м;

i - расстояние по высоте между двумя смежными витками, равное 0,005 м.

Скорость, с которой молоко вытекает из приемника через распределительное устройство, определяется по формуле

$$v = \mu \cdot \sqrt{2gh},$$

где v - скорость струи молока, м/с;

μ - коэффициент истечения: для молока - 0,8, для сливок - 0,6;

g - ускорение силы тяжести, м/с²;

h - высота столба продукта над отверстиями, равная 0,034 ÷ 0,08 м.

Практически средняя скорость молока устанавливается в пределах 0,2 - 0,7 м/с.

Конструктивные параметры молокоприемника и распределительного устройства определяют из уравнения, производительности охладителя по формуле истечения:

$$M_{\Pi} = \mu \cdot f_0 \cdot z_0 \sqrt{2gh},$$

где M_{Π} - массовая производительность охладителя, кг/с;

f_0 - площадь одного отверстия, через которое вытекает молоко,

$$f_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}, \text{ м}^2;$$

z_0 - число отверстий в распределительном устройстве.

3 Холодильные установки, их выбор и технологические расчеты

3.1 Физические основы получения искусственного холода и классификация холодильных установок

Для получения холода на животноводческих фермах используют проточную воду, лед и холодильные установки, вырабатывающие искусственный холод.

Проточной водой на охладителях можно охладить молоко в лучшем случае до 12°-15°С, так как температура воды редко бывает ниже 10°С. Охлаждение с использованием льда и фреонной установки увеличивает предел охлаждения до 3-5°С, а при условии добавления в воду со льдом поваренной соли позволяет вести охлаждение и до более низкой температуры.

Однако охлаждение больших количеств молока с помощью льда имеет ряд недостатков. Оно требует строительства ледников, заготовки и хранения больших количеств льда, связано с большим объемом ручного труда по транспортировке, колке и укладке льда в ящики (фреонеры) и, что весьма важно, не гарантирует требуемой гигиены в пунктах первичной обработки молока.

Кроме того, широкое внедрение в практику колхозов и совхозов лагерного содержания скота в пастбищный период требует наличия удобных в использовании и транспортировке хладагентов, позволяющих глубоко охлаждать молоко в полевых условиях непосредственно после дойки коров.

Наиболее совершенным способом охлаждения является способ применения холодильных установок, предназначенных для искусственного охлаждения тел.

Холодильная установка является обращенной теплосиловой установкой. Для получения холода в установке затрачивается работа, при этом тепло с помощью рабочего тела передается от холодного источника к горячему.

Получение холода посредством холодильных установок основано на кипении некоторых жидкостей - холодильных агентов при низких температурах или на расширении сжатого газа. По этим признакам холодильные установки разделяются на паровые и газовые.

К паровым холодильным установкам относятся:

1. Компрессионные со сжатием паров холодильного агента, обращением их в жидкость и последующим кипением.
2. Абсорбционные - с поглощением паров холодильного агента поглотителем - абсорбентом и с последующей выгонкой их при затрате тепла для этой цели.
3. Пароводяные - вакуум-установки, создающие вакуум для испарения воды при пониженных температурах.

К газовым холодильным установкам относятся воздушно-компрессионные холодильные установки со сжатием воздуха, охлаждением его водой и последующим расширением.

Во многих отраслях народного хозяйства и, в частности в сельскохозяйственном производстве, наибольшее распространение получили паровые компрессионные холодильные установки. В качестве рабочего тела (хладагента) в таких установках применяют аммиак, фреон, углекислоту, сернистый ангидрид и др.

Хладагенты должны обладать способностью при испарении поглощать большое количество тепла, иметь малые удельные объемы паров; они не должны разлагаться и реагировать с металлом холодильной установки, а также должны быть безвредны при использовании их в пищевых холодильных машинах.

Наиболее распространенными холодильными агентами являются аммиак и фреоны. Аммиак ядовит и обладает удушливым запахом. При содержании его в воздухе в большом количестве и наличии открытого пламени он взрывоопасен. Он разъедает медь и ее сплавы. Поэтому при обращении с ним должны быть приняты меры предосторожности. Температура испарения аммиака при атмосферном давлении равна $33,4^{\circ}\text{C}$.

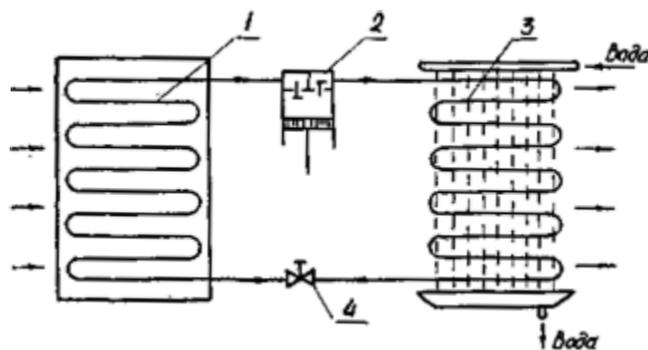
Фреон (Ф-12) почти не ядовит, не имеет запаха, не горюч. Температура испарения его при атмосферном давлении равна $-29,8^{\circ}\text{C}$.

3.2 Принцип работы компрессионной холодильной установки

Паровая компрессионная холодильная установка (рисунок 3.1.) состоит из испарителя 1, компрессора 2, конденсатора 3 и регулирующего вентиля (дроссельного клапана) 4. Между собой эти части соединены трубопроводами и образуют замкнутую систему. Эта система однажды заполняется холодильным агентом, постоянное количество которого и циркулирует в ней, меняя свое агрегатное состояние при испарении и конденсации.

Рабочий процесс паровой компрессионной установки протекает следующим образом. Компрессор 2 отсасывает из испарителя 1 пары холодильного агента и производит сжатие их до избыточного давления $0,9-1,1$ МПа ($9-11$ кгс/см²). При этом сжатие паров сопровождается повышением их температуры до $35-40^{\circ}\text{C}$. Сжатые и нагретые пары поступают в конденсатор. Здесь они охлаждаются водой или воздухом и пар переходит в жидкое состояние - конденсируется, сохраняя свое повышенное давление. Далее в узком проходном сечении регулирующего вентиля 4 производится торможение или дросселирование жидкого холодильного агента. Избыточное давление агента снижается примерно до $0,1-0,3$ МПа ($1-3$ кгс/см²), после чего он поступает в испаритель 1, где при низкой температуре жидкий агент испаряется (точнее кипит). Испаре-

ние происходит вследствие понижения давления и сопровождается отнятием из окружающей среды необходимой для этого процесса теплоты парообразования. Далее пары вновь засасываются компрессором и цикл повторяется.



1 - испаритель; 2 - компрессор; 3 - конденсатор; 4 – регулирующий вентиль
Рисунок 3.1 - Схема паровой компрессионной холодильной установки:

В процессе работы холодильной установки внутри испарителя всегда находятся пары холодильного агента, имеющие температуру – 25-33°С в зависимости от свойств применяемости агента.

3.3 Способы отвода и использования холода, получаемого при работе холодильной установки

Отвод и использование холода, получаемого в процессе работы компрессионной холодильной установки, осуществляется двумя способами: непосредственным испарением и рассольным.

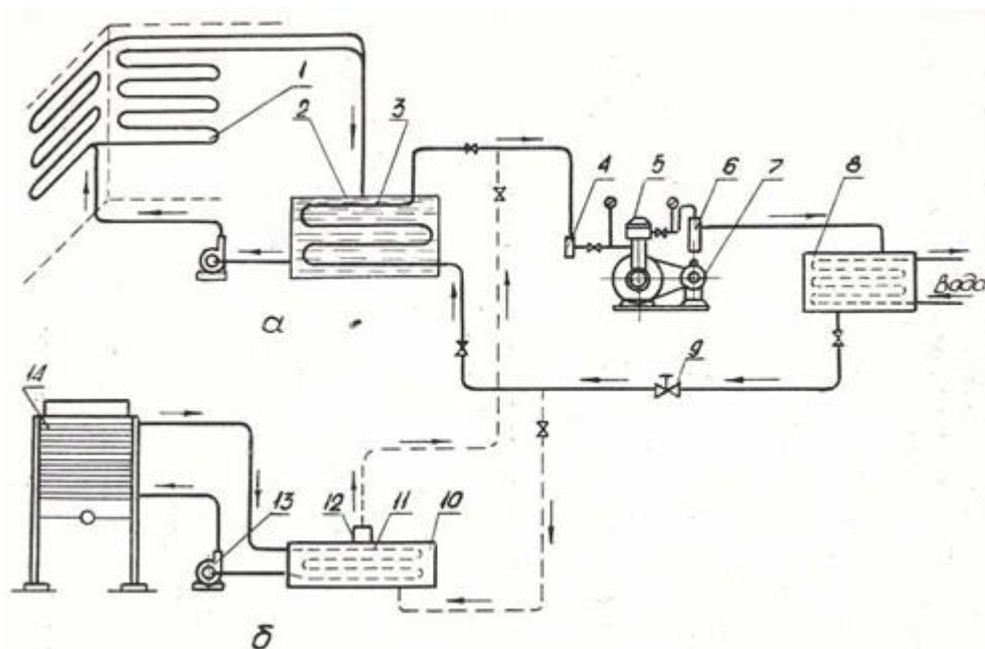
Сущность первого из них заключается в том, что испаритель холодильной установки изготавливается в виде одной или нескольких трубчатых батарей, которые выносятся в охлаждаемое помещение (холодильную камеру, шкаф и т. п.) или составляют одно целое с оросительным охладителем. В этом случае пары холодильного агента через стенку труб отнимают тепло непосредственно от охлаждаемой среды (воздух камеры или молоко, стекающее по наружной поверхности охладителя). Такой способ применяется преимущественно в установках небольшой производительности.

Второй, рассольный способ, получивший более широкое распространение, заключается в том, что тепло от охлаждаемой среды к холодильному агенту передается не непосредственно, а через промежуточное рабочее тело - холодоноситель.

В качестве холодоносителя используют воду или рассол (растворы солей NaCl, CaCl₂ и др.).

При этом способе отвода тепла испаритель 3 холодильной установки (рисунок 3.2, а) помещают в бак 2, заполненный солевым раствором. Рассол через стенки труб змеевика испарителя 3 охлаждается и насосом по закрытой системе подводится к охлаждаемому объекту. Проходя по системе батарей 1, расположенных в холодильной камере или в молочном оросительном охладителе, рассол отнимает тепло от охлаждаемой среды (воздух камеры или молоко) и возвращается в бак-аккумулятор холода 2.

В некоторых случаях испаритель изготавливается в виде закрытого сосуда 10 (рисунок 3.2, б). Внутри сосуда размещается трубчатый змеевик 11, по которому циркулирует рассол, охлаждаемый через стенки парами холодильного агента, омывающего трубки змеевика. Охлажденный рассол также насосом 13 подается в охладитель или батареи холодильной камеры 1.



а – при размещении испарителя в рассольном баке; б – при кожухотрубном испарителе; 1 – холодные батареи камеры; 2 – рассольный бак; змеевик испарителя; 4 – грязеочиститель; 5 – компрессор; 6 – маслоулавнитель; 7 – электродвигатель; 8 – конденсатор с змеевиком; 9 – регулирующий вентиль; 10 – кожухотрубный испаритель; 11 – змеевик испарителя; 12 – сухопарник; 13 – рассольный насос; 14 – молочный охладитель.

Рисунок 3.2 – Отвод и использование холода рассольным способом

Рассольные батареи и батареи непосредственного испарения, устанавливаемые на стенках холодильной камеры, часто изготавливаются на месте. Для аммиачных агрегатов они выполняются из стальных труб ($d_{\text{нар}} = 56\text{мм}$) в виде змеевиков, концы труб соединяются сваркой. Фреоновые батареи непосред-

ственного испарения изготавливаются из медных труб диаметром 16-18 мм и для увеличения площади теплопередачи снабжаются ребрами. По расположению труб батареи бывают горизонтальные и вертикальные, а по устройству - одно- и двурядные.

Необходимая общая площадь поверхности батарей для заданных условий определяется по формуле:

$$F_{\delta} = 3600 \frac{Q_{\delta}}{k \cdot \Delta t}, \quad (3.1)$$

где F_{δ} - общая площадь батарей камеры, м²;

Q_{δ} - тепловая нагрузка батарей камеры, Дж/ч;

k - коэффициент теплопередачи, Вт/ (м² °С);

Δt - разность температур воздуха камеры и циркулирующего рассола или испаряющегося холодильного агента.

3.4 Выбор и технологический расчет холодильных установок

На животноводческих фермах холод, получаемый от холодильных машин, используют, главным образом, для охлаждения молока, сливок и обраты путем их пропускания через охладитель и для поддержания низкой температуры в холодильных камерах при хранении продуктов.

Выбор холодильного агрегата для заданных условий ведется по максимальной часовой потребности в холоде.

Для охлаждения молока и молочных продуктов, пропускаемых через охладитель, необходимое количество холода в час определяется по формуле:

$$Q_{охл.} = Q_{п} + q = G_{п} \cdot c_{п} (t_{н} - t_{к}) + q, \quad (3.2)$$

где $Q_{охл.}$ - расход холода на охлаждение продукта, пропускаемого через охладитель, Дж/ч;

$Q_{п}$ - расход холода на собственное охлаждение продукта, Дж/ч;

q - расход холода на потери в окружающую среду, Дж/ч;

$G_{п}$ - массовая производительность принятого охладителя, кг/ч;

$c_{п}$ - теплоемкость продукта, Дж/ (кг °С);

$t_{н}$ и $t_{к}$ - начальная и конечная температура продукта, °С.

Значение q при ориентировочных подсчетах принимается равным $q = 2 \div 3$ % от $Q_{п}$.

Расход холода в холодильных камерах, предназначенных для кратковре-

менного хранения продуктов, в сутки составляет:

$$Q_{сут.к.} = \Sigma Q_1 + \Sigma Q_2 + Q_3 + \Sigma Q_4, \quad (3.3)$$

где $Q_{сут.к.}$ - расход холода при хранении продуктов в холодильной камере, Дж/сутки;

ΣQ_1 - расход холода на теплопередачу через наружные ограждения камеры (стены, пол, потолок), Дж/сутки;

ΣQ_2 - расход холода на доохлаждение продукта и тары, поступающих в камеру в течение суток, Дж/сутки;

Q_3 - расход холода на охлаждение приточного воздуха, поступающего в камеру за сутки, Дж/сутки;

ΣQ_4 - расход холода при открывании дверей и на пребывание в камере людей, Дж/сутки.

Расход холода через наружные ограждения камеры определяют по формуле:

$$\Sigma Q_1 = 3600 \cdot 24 \Sigma F \cdot k (t_{нар.} - t_{вн.}), \quad (3.4)$$

где F - поверхность стен, пола и потолка камеры, m^2 ;

k - коэффициент теплопередачи стен, пола и потолка, $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

$t_{нар.}$ - расчетная наружная температура воздуха, $^\circ C$;

$t_{вн.}$ - заданная температура воздуха в холодильной камере (обычно равная $2 \div 4^\circ C$).

Расчетную температуру наружного воздуха находят из соотношения:

$$t_{нар.} = 0,4t_{см} + 0,6t_{макс},$$

где $t_{см}$ - среднемесячная и $t_{макс}$ - максимальная суточная температура самого жаркого месяца, $^\circ C$.

Расход холода на доохлаждение продукта и тары учитывается по формуле:

$$\Sigma Q_2 = \Sigma (G_{п.} \cdot c_{п.} + G_{т.} \cdot c_{т.}) (t_1 - t_2), \quad (3.5)$$

где $G_{п.}$ - масса продуктов, поступающих в камеру за сутки, кг/сутки;

$G_{т.}$ - масса тары, кг/сутки;

$c_{п.}$ - теплоемкость продуктов, $Дж/(кг \cdot ^\circ C)$;

$c_{т.}$ - теплоемкость материала тары, $Дж/(кг \cdot ^\circ C)$;

t_1 и t_2 - начальная и конечная температуры продуктов и тары, $^\circ C$.

Расход холода на охлаждение приточного воздуха при вентиляции камеры подсчитывается по формуле:

$$Q_3 = \alpha V \rho (i_{нар.} - i_{вн.}), \quad (3.6)$$

где α - кратность смены воздуха в сутки, равная 2;

V - объем камеры, м³;

ρ - плотность воздуха в камере, кг/м³;

$i_{нар.}$ и $i_{вн.}$ - теплосодержание воздуха наружного и внутри камеры, Дж/кг.

Наконец, расход холода при открывании дверей, на пребывание в камере людей и другие эксплуатационные потери учитывают, пользуясь формулой:

$$\Sigma Q_4 = (0,2 - 0,4) \Sigma Q_1 \quad (3.7)$$

Общее суточное количество холода $Q_{сут.к.}$ при кратковременном хранении продуктов в камере допустимо подавать от холодильного агрегата периодически, но с перерывами, не превышающими 3 - 5 часов.

Исходя из этого, для выбора холодильного агрегата, предназначенного только для охлаждения камеры, задаются числом часов его работы в сутки и определяют необходимую его часовую производительность:

$$Q = \frac{Q_{сут.к.}}{n}, \quad (3.8)$$

где Q - максимальная часовая потребность в холоде для заданных условий (холодопроизводительность агрегата), Дж/ч;

n - принятое число часов работы агрегата в сутки.

Однако в практике чаще всего один и тот же холодильный агрегат используют для охлаждения молока и молочных продуктов на охладителе и для охлаждения камеры. В этом случае потребуется агрегат с часовой холодопроизводительностью, равной:

$$Q' = Q_{охл} + \frac{Q_{сут.к.}}{n} \quad (3.9)$$

где Q' - холодопроизводительность агрегата, предназначенного для охлаждения молока на охладителе и для охлаждения камеры, Дж/ч.

По полученным данным выбирают тип и марку холодильной установки.

4 Основы теории, выбор и расчет пастеризаторов молока

4.1 Основы пастеризации молока и ее режимы

Пастеризация молока - это способ его обработки путем нагревания до сравнительно высокой температуры, но меньше температуры кипения при атмосферном давлении. Цель пастеризации - уничтожить находящиеся в молоке микроорганизмы и повысить стойкость молока против порчи при его хранении.

В зависимости от температуры бактериально загрязненного молока различные виды микроорганизмов, находящиеся в нем, обладают различной жизнеспособностью. Процесс пастеризации ведут при таком диапазоне температур и продолжительности, при которых бактерии погибают, а основные физико-механические и биологические свойства молока остаются неизменными.

Граничные параметры зоны процесса пастеризации, по данным проф. Г. А. Кука (4), определяются следующим образом.

Предельные значения наиболее высокой температуры и продолжительности процесса, связанные с началом качественного изменения молока, находят из уравнения:

$$\ln t_{\text{макс}} = 40,76 - 0,53T_{\text{макс}},$$

где $t_{\text{макс}}$ - продолжительность процесса пастеризации, с;

$T_{\text{макс}}$ - максимально допустимая температура, при которой еще не происходит изменения свойств молока, °С.

Предельные значения самых низких температур и наименьшей продолжительности процесса, определяемые из условий полной гибели бактерий туберкулеза, выражаются соотношением:

$$\ln t_{\text{мин}} = 33,54 - 0,44T_{\text{мин}},$$

где $t_{\text{мин}}$ - продолжительность процесса пастеризации, с;

$T_{\text{мин}}$ - минимально допустимая температура, обеспечивающая полную гибель бактерий туберкулеза, °С.

Оптимальный режим пастеризации характеризуется выражением

$$\ln \cdot t = a - v \cdot T_{\text{II}},$$

где t - продолжительность процесса пастеризации, с;

a и v - константы данного продукта (для молока $a = 36,84$ и $v = 0,48$).

Время воздействия высокой температуры, как установил проф. Г. А. Кук, можно связать с суммарным эффектом пастеризации, который он назвал критерием Пастера:

$$P_a = \int \frac{d \cdot t_{np}}{t_{п}}, \quad (4.1)$$

где P_a - безразмерный критерий Пастера;

$t_{пр}$ - фактическое время проведения пастеризации, с;

$t_{п}$ - потребное время выдержки для полного завершения пастеризации продукта, с.

При $t_{п} = t_{пр}$, $P_a=1$.

Различают три режима пастеризации: длительная пастеризация с выдержкой молока в течение 30 мин., при температуре 63-65°C; кратковременная с выдержкой 20-30 с, при температуре 72-76°C; мгновенная, при температуре 85-95°C без выдержки.

Пастеризация молока установлена ГОСТом как обязательный способ обработки при производстве большинства молочных продуктов. Широкому распространению пастеризации молока в нашей стране в большой мере способствовали работы советского ученого проф. Г. А. Кука по теории пастеризации, научным основам ее режимов и принципам конструирования тепловых аппаратов. Наша промышленность выпускает в настоящее время большое количество различных машин и аппаратов для пастеризации молока, в совершенстве выполняющих этот процесс.

4.2 Зоотехнические требования на пастеризаторы молока

Аппараты, применяемые для пастеризации молока, называют пастеризаторами. К ним предъявляются следующие основные требования:

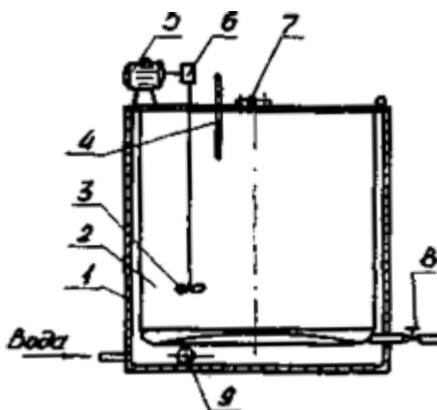
1. Обеспечение полного уничтожения микробов всех форм.
2. Универсальность в отношении возможности пастеризации молока и молочных продуктов.
3. Аппарат в процессе работы не должен заметно изменять вкус, запах, консистенцию и другие свойства молока.
4. Он должен быть прост по устройству и надежен в эксплуатации.
5. Рабочие органы аппарата должны быть стойкими против химических воздействий молока и моющих растворов.
6. Потери молока при работе аппарата не допускаются.

4.3 Классификация и конструктивные схемы пастеризаторов

Наиболее распространенные аппараты для пастеризации молока подразделяются по следующим основным признакам:

1. По характеру выполнения процесса - на аппараты непрерывного и периодического действия.
2. По конструкции - на аппараты открытого типа с доступом воздуха к молоку и аппараты закрытого типа, т. е. без доступа воздуха.
3. По источнику использования энергии - на паровые и электрические.
4. По режиму работы - на аппараты длительной пастеризации и аппарата кратковременной и мгновенной пастеризации.

Для длительной пастеризации, подогрева перед сепарированием и для сквашивания молока применяют ванны типа ВДП (рисунок 4.1) емкостью до 300 л и выше.



1 - кожух; 2 - резервуар; 3 - мешалка пропеллерная; 4 - термометр; 5 - электродвигатель; 6 - редуктор; 7 - шарнир откидной крышки; 8 - молочный кран; 9 - трубка с паровым соплом

Рисунок 4.1 - Ванна длительной пастеризации

Корпус (кожух) такой ванны представляет собой стальной сварной цилиндр 1, внутрь которого вставлен резервуар 2, изготовленный из луженой листовой меди или из нержавеющей стали.

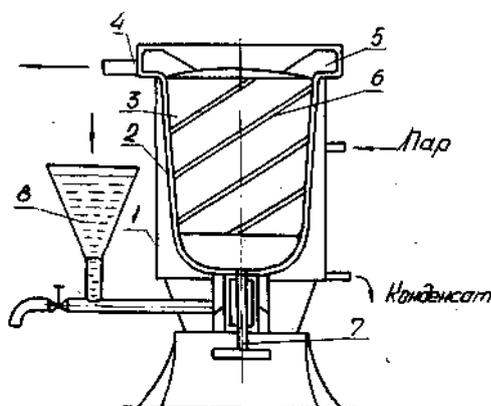
Пространство между стенками корпуса и резервуара служит пароводяной рубашкой. Ванна оборудована пропеллерной мешалкой 3, получающей вращение через червячный редуктор 6 от электродвигателя 5. Для замера температуры молока в крышке 6 резервуара укреплен термометр 4. Заполнение ванны продуктом производят через люк в крышке. Выпуск продукта осуществляется через молочный кран 8. Вода в рубашку подается снизу из водопроводной сети и подогревается острым паром, поступающим через трубку, оборудо-

ванную соплом 9. Регулирование температуры процесса достигается изменением подачи пара.

Кратковременную тонкослойную пастеризацию с 20-секундной выдержкой молока осуществляют на пластинчатых охлаждающе-пастеризационных установках типа ОПУ.

Для мгновенной тонкослойной пастеризации применяются паровые пастеризаторы с вытеснительным барабаном.

Схема такого пастеризатора, обеспечивающего двухсторонний обогрев молока, представлена на рисунке 5.2. На станине пастеризатора крепится наружный цилиндр 1 из листовой стали, имеющий снаружи тепловую обшивку. В цилиндрическом корпусе находится резервуар 2 параболической формы, так что между их стенками образована паровая рубашка. Внутри резервуара на приводной вертикальный вал 7 надет полый вытеснительный барабан 3. На боковой поверхности барабана имеются ребра 6, направленные снизу вверх по спирали, а на верхней торцевой поверхности укреплены лопасти 5. Резервуар и барабан выполнены из листовой нержавеющей стали. Пар подают одновременно в рубашку и барабан.



1 - цилиндр; 2 - резервуар; 3 – вытеснительный барабан; 4 - патрубок для выхода пастеризованного молока; 5 - лопасть барабана; 6 – спиральные полосы барабана; 7 - приводной вал; 8 - воронка

Рисунок 4.2 - Паровой пастеризатор с вытеснительным барабаном:

Молоко, поступающее из приемной воронки 8, захватывается спиральными ребрами вращающегося барабана и перемещается вверх по кольцевому зазору (3-4 мм) между двумя горячими поверхностями. За время перемещения (доли секунды) молоко нагревается и, дойдя до верхней части резервуара, выбрасывается под напором лопастей барабана в нагнетательную трубу.

4.4 Выбор и расчет пастеризаторов

Тепловая производительность любого пастеризатора характеризуется известной формулой теплопередачи:

$$Q = F \cdot k \Delta t_{cp} = M_{II} \cdot c_{II} (t_k - t_n), \quad (4.2)$$

где Q - тепловая производительность пастеризатора, Вт;
 F - площадь рабочей поверхности пастеризатора, м²;
 k - общий коэффициент теплопередачи, Вт/(м² °С);
 Δt_{cp} - среднелогарифмическая разность температур, °С;
 M_{II} - массовая производительность пастеризатора, кг/с;
 c_{II} - теплоемкость продукта, Дж/(кг °С);
 t_k и t_n - конечная и начальная температуры продукта, °С.

Для одного и того же пастеризатора величина Q Вт может изменяться в зависимости от температурных условий в больших пределах. В определенных пределах может варьировать и массовая производительность пастеризатора M_{II} .

Все это указывает на необходимость выбора пастеризатора для заданных условий расчетным путем.

Преобразуя основную формулу теплопередачи, получим ряд выражений для расчета отдельных искомых параметров, а именно:

$$Q = F \cdot k \cdot \Delta t_{cp} \text{ или } M_{II} \cdot c_{II} (t_k - t_n); \quad (4.3)$$

$$M_{II} = \frac{Q}{c_{II} (t_k - t_n)}; \quad (4.4)$$

$$M_{II} = \frac{F \cdot k \cdot \Delta t_{cp}}{c_{II} (t_k - t_n)}; \quad (4.5)$$

$$F = \frac{M_{II} c_{II} (t_k - t_n)}{K \cdot \Delta t_{cp}}. \quad (4.6)$$

При расчете среднелогарифмической разности температур для паровых пастеризаторов надо иметь в виду, что температура греющих поверхностей будет одинаковой как в начале, так и в конце процесса.

Следовательно:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} = \frac{(t_{II} - t_n) - (t_{II} - t_k)}{2,3 \lg \frac{t_{II} - t_n}{t_{II} - t_k}},$$

где Δt_{cp} - среднелогарифмическая разность температур, °С;

Δt_{max} , Δt_{min} - разность температур между греющей поверхностью и молоком в начале и в конце процесса, °С;

t_{II} - температура греющей поверхности, равная температуре пара, °С;

t_n и t_k - начальная и конечная температуры молока, °С.

Расход пара на пастеризацию определяется из уравнения баланса теплообмена:

$$M_{II} \cdot c_{II} (t_k - t_n) = P(i - \lambda)\eta_T, \quad (4.7)$$

откуда секундный расход пара составит:

$$P = \frac{M_{II} c_{II} (t_k - t_n)}{(i - \lambda) \cdot \eta_T}, \quad (4.8)$$

где P - расход пара, кг/с;

i - теплосодержание пара, Дж/кг;

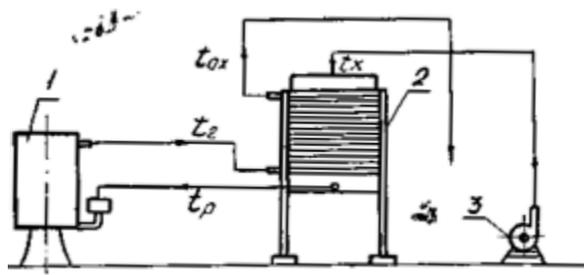
λ - теплосодержание конденсата, Дж/кг;

η_T - тепловой к.п.д. пастеризатора, равный для пастеризаторов с вытеснительным барабаном - 0,80-0,92.

4.5 Элементы теории и расчет регенераторов тепла

Во всех случаях пастеризации молока вслед за нагревом следует операция охлаждения. Если горячий продукт охлаждать поступающим на обработку холодным продуктом, то расход тепла и холода можно значительно сократить.

При тепловой обработке больших количеств молока чаще всего пользуются пастеризаторами и охладителями непрерывного действия, причем включают их в работу параллельно. Процесс возвращения тепла от нагретого продукта к холодному называют регенерацией тепла.



1 - пастеризатор; 2 - регенератор; 3 – насос

Рисунок 4.3 - Схема включения противоточного трубчатого регенератора

Регенераторы по конструкции бывают трубчатые и пластинчатые; по направлению потоков продукта в них - противоточные и прямоточные. Прямоточные регенераторы используются редко.

Схема включения противоточного трубчатого регенератора представлена на рисунке 4.3.

Из схемы следует, что регенератор экономит следующее количество тепла:

$$Q_{m.p.} = M_{\Pi} \cdot c_{\Pi} (t_p - t_x) \quad (4.9)$$

и одновременно экономит следующее количество холода:

$$Q_{x.p.} = M_{\Pi} \cdot c_{\Pi} (t_z - t_{ox}), \quad (4.10)$$

где $Q_{т.р.}$ - количество тепла, использованного регенератором, Дж;

M_{Π} - масса продукта, пропущенного через регенератор, кг;

c_{Π} - теплоемкость продукта, Дж/(кг °С);

t_p - температура регенерации, °С;

t - температура холодного продукта, °С;

$Q_{x.p.}$ - количество холода, использованного регенератором, Дж;

t_p - температура пастеризации, °С;

t_{ox} - температура продукта, охлажденного в регенераторе, °С.

Отношение количества тепла, использованного регенератором $q_{т.р.}$, к общему количеству тепла, затраченному на пастеризацию Q , называется коэффициентом регенерации.

$$\varepsilon = \frac{Q_{m.p.}}{Q} = \frac{M_{\Pi} c_{\Pi} (t_p - t_x)}{M_{\Pi} c_{\Pi} (t_z - t_x)}, \quad (4.11)$$

где Q - общее количество тепла, затраченного на пастеризацию, продукта, Дж.

Использование процесса регенерации дает экономию тепла и холода до 45% и более. Производительность пастеризатора при этом повышается вдвое.

Поверхность теплообмена регенератора определяется по формуле:

$$F_p = \frac{M_{II} \cdot c_{II} \cdot \varepsilon}{k(1 - \varepsilon)}, \quad (4.12)$$

где F_p - необходимая площадь рабочей поверхности регенератора, m^2 ;

M_{II} - массовая производительность регенератора, kg/s ;

c_{II} - теплоемкость продукта, $Dj/(kg \cdot ^\circ C)$;

ε - коэффициент регенерации, равный 0,4-0,7;

k - общий коэффициент теплопередачи, $Вт/(m \cdot ^\circ C)$.

5 Теория и расчет молочных сепараторов

5.1 Физические основы разделения жидких смесей и классификация молочных сепараторов

Цельное молоко представляет собой жидкую смесь, состоящую из жира и молочной плазмы. Жир является самым ценным составным элементом молока и содержится в нем в сравнительно небольших количествах (3-5%) в виде мельчайших жировых шариков диаметром 1-10 мк ($0.001 \div 0,01$ мм).

До появления сепараторов, т. е. до 1879 г. (первая центрифуга для разделения жидких смесей была изобретена шведским инженером Г. Лавалем), жир (сливки) выделяли из молока только посредством отстаивания. Этот способ является несовершенным, так как в снятом молоке остается до 1 % жиров (собирается всего 70-78% жировых шариков), а сам процесс требует больших затрат времени и посуды. При длительном отстаивании молоко часто скисает.

Сепарированием молока называется механический способ разделения цельного молока на сливки и обезжиренное молоко (обрат). Он осуществляется посредством молочных сепараторов и обладает рядом преимуществ в сравнении со способом отстаивания сливок. Так, при сепарировании, благодаря кратковременности и непрерывности процесса, сливки и обрат получаются совершенно свежими, степень обезжиривания достигает 99,98 %. В процессе сепарирования сливки и обрат дополнительно очищаются от механических примесей. Жирность сливок в зависимости от их назначения можно регулировать.

Молочные сепараторы делятся:

1. По назначению - на сливоотделители, очистители, нормализаторы и универсальные.
2. По конструктивным особенностям - на открытые, полугерметические и герметические.
3. По типу привода - с ручным приводом, с механическим и с комбинированным приводом (ручным и механическим).
4. По производительности.

В сепараторах открытого типа подача молока, отвод сливок и обрата происходит открытыми потоками, при доступе воздуха. В полужакрытых - молоко поступает открытым потоком, а продукты сепарирования отводятся по закрытому от доступа воздуха пути, под давлением, создаваемым барабаном сепаратора. В герметичных сепараторах подача молока и отвод продуктов осуществляется без доступа воздуха.

При подаче молока закрытыми потоками в полугерметических и герметических сепараторах оно не испаряется, не окисляется кислородом воздуха и не образует пены, вызывающей большие неудобства в эксплуатации сепараторов.

5.2 Зоотехнические требования на сепараторы молока

Молочные сепараторы должны удовлетворять следующим основным требованиям:

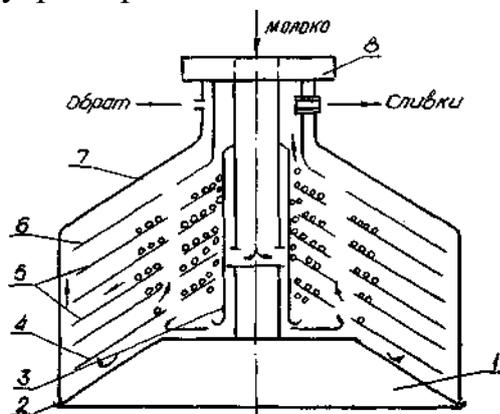
1. Высокая степень обезжиривания и очистки молока от механических примесей.
2. Возможность регулирования жирности сливок.
3. Малый удельный расход энергии.
4. Надежность в работе.
5. Простота устройства, удобство в эксплуатации и обслуживании.

5.3 Анализ рабочего процесса и теория сепарирования

Сепаратор любой конструкции состоит из корпуса или станины, приводного механизма, барабана и приемников для молока, обрата и сливок.

Барабан, внутри которого происходит разделение молока на сливки и обрат, является основной частью и основным рабочим органом сепаратора (рисунок 5.1.).

Молоко, предварительно профильтрованное и подогретое до температуры 35-40°C, вручную или насосом подается в молокоприемник и непрерывной струей поступает через трубку поплавковой камеры внутрь быстровращающегося барабана. Из центральной трубки днища барабана молоко поступает по каналам тарелкодержателя и его нижним сквозным отверстиям под нижнюю тарелку. Затем оно поднимается вверх по трем вертикальным каналам, образованным отверстиями тарелок, распределяется между тарелками и заполняет все свободное пространство внутри барабана.



1 - днище с центральной полую трубкой; 2 - резиновое уплотнительное кольцо; 3 - тарелкодержатель; 4 - нижняя тарелка; 5 - средние тарелки; 6 - верхняя разделительная тарелка; 7 - крышка барабана; 8 – зажимная гайка

Рисунок 5.1 - Схема барабана сепаратора

В межтарелочном пространстве под воздействием центробежной силы происходит разделение молока на фракции. Обрат, имеющий большую плотность, отбрасывается к периферии барабана, а сливки как менее плотная, обогащенная жиром часть молока оттесняется к оси барабана.

Под действием гидростатического напора вновь поступающих порций молока обрат и сливки вытесняются кверху, причем обрат идет над верхней разделительной тарелкой и выходит через отверстие в верхней суженной части крышки барабана. Сливки идут под верхней разделительной тарелкой и выходят из барабана через отверстие в верхней суженной части разделительной тарелки. Таким образом, внутри барабана устанавливается определенный поток с общим направлением движения вначале сверху вниз, под нижнюю тарелку, а затем снизу вверх, к выходу из барабана.

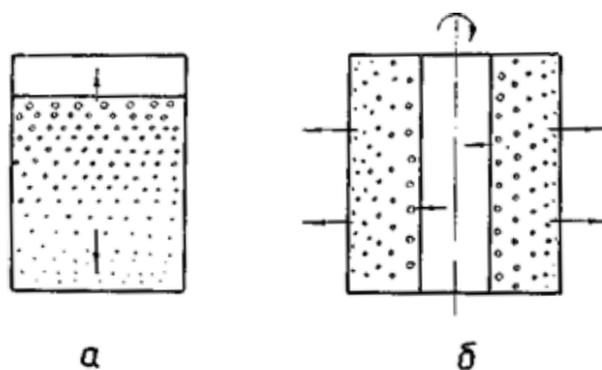
Принцип действия сепаратора основан на использовании центробежной силы.

Теорию сепарирования молока разработал советский ученый проф. Г. И. Бремер.

Большой вклад в развитие отечественного сепараторостроения, а также в организацию правильной эксплуатации сепараторов внесли Г. А. Кук, Н. Я. Лукьянов, В. Д. Сурков и другие ученые нашей страны.

В цельном молоке жир находится в виде мелких жировых шариков, плотность которых меньше плотности плазмы молока (обрата) (плотность цельного молока 1030, жира 850, плазмы 1035 кг/м³).

При естественном отстаивании сливок или при естественном осаждении грязи отделение взвешенных в молоке частиц грязи или жира происходит под действием силы тяжести, вследствие разницы в плотности этих частиц и плазмы молока. В этом случае жировые шарики всплывают вверх (рисунок 5.2., а).



а - при естественном отстое; б - при сепарировании

Рисунок 5.2 - Разделение молока на фракции по плотности

При сепарировании (рисунок 5.2., б) находящееся в барабане молоко под-

вергается действию центробежной силы, которая больше силы тяжести в 3000-5000 раз. Отделение жира в этом случае тоже происходит вследствие разницы в плотности, частиц жира и плазмы молока, но скорость процесса выделения этих частиц будет во столько раз больше, во сколько раз центробежная сила больше силы тяжести. Жировые шарики как наиболее легкая фракция молока «всплывают» к оси вращения барабана, обрат отходит к периферии барабана, а случайные примеси с большим удельным весом отбрасываются к стенкам барабана и отлагаются на них в виде плотного слизистого слоя (сепараторная слизь).

Скорость всплывания жировых шариков из плазмы молока при естественном отстое определяется по формуле Стокса:

$$v_0 = \frac{1}{18} a \cdot d^2 = \frac{(\rho_{\Pi} - \rho_{ж}) \cdot 9,81}{\mu}, \quad (5.1)$$

где v_0 - скорость всплывания (выделения) жировых шариков при отстое молока, м/с;

a - ускорение силы тяжести ($a = g = 9,81 \text{ м/с}^2$);

d - диаметр жирового шарика, м;

ρ_{Π} и $\rho_{ж}$ - соответственно плотности плазмы и жировых шариков, кг/м³;

μ - динамическая вязкость плазмы, Н с/м².

Процесс выделения жировых шариков в сепараторе протекает следующим образом. Находящиеся в молоке и сравнительно равномерно распределенные в нем жировые шарики поступают в межтарелочное пространство и в первый момент движутся вместе с потоком молока вниз к периферии барабана со скоростью, равной скорости потока молока. Среднее значение этой скорости v_{Π} можно определить по схеме (рис. 6.3.), используя уравнение гидравлики о расходе (объемном) жидкости, вытекающей через отверстия $Q = F v_{\Pi}$, по формуле

$$v_{\Pi} = \frac{Q}{2\pi R_x (h - S) \cdot z \cdot \cos \alpha}, \quad (5.2)$$

где Q - объемное количество молока, проходящего через барабан в течение 1 с;

R_x - радиус тарелки, соответствующий средней скорости потока, м;

h - расстояние между тарелками по вертикали, м;

S - толщина слоя потока сливок (на тарелке) по вертикали на радиусе R_x , м;

z - число тарелок;

α - угол подъема тарелки °.

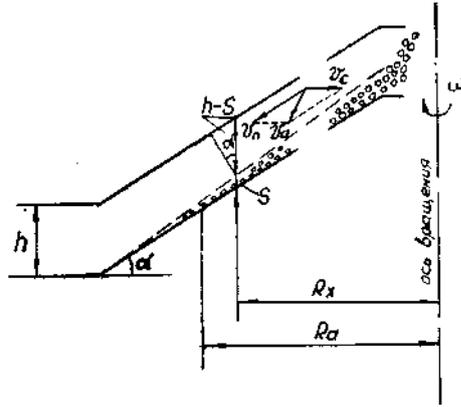


Рисунок 5.3 - Движение молока и выделение жировых шариков в межтарелочном пространстве барабана

В тоже время жировые шарики, находясь под воздействием центробежного ускорения, стремятся переместиться (всплыть) в направлении к оси вращения барабана со скоростью, определяемой по формуле Стокса:

$$v_c = \frac{1}{12} ad^2 \frac{(\rho_{\Pi} - \rho_{ж}) \cdot 9,81}{\mu}$$

где v_c - скорость «всплывания» жирового шарика, м/с;

a - центробежное ускорение действующей силы, м/с²;

d - диаметр жирового шарика, м;

ρ_{Π} и $\rho_{ж}$ - соответственно плотности плазмы и жировых шариков, кг/м³;

μ - динамическая вязкость плазмы, Н с/м².

Для вращательного движения ускорение выражается формулой:

$$a = \frac{v^2}{R_a} = \frac{(2\pi R_a n)^2}{R_a} = 4\pi^2 n^2 R_a = \omega^2 R_a,$$

где ω - угловая скорость вращения барабана, рад/с;

R_a - средний радиус рабочей части тарелки, м;

n - частота вращения барабана, об/с.

Тогда формула Стокса применительно к процессу сепарирования примет вид:

$$v_c = \frac{1}{18} \omega^2 R_a \cdot d^2 = \frac{(\rho_{\Pi} - \rho_{ж}) \cdot 9,81}{\mu}. \quad (5.3)$$

Из этой формулы видно, что скорость «всплывания» жирового шарика будет тем больше, чем больше центростремительное ускорение, чем больше разница в плотности частиц плазмы и жировых шариков, чем крупнее сама частица. Отсюда следует, что при увеличении вязкости плазмы скорость «всплывания» жирового шарика уменьшается.

С удалением от оси вращения центростремительное ускорение увеличивается, а скорость протока жидкости вследствие увеличения живого сечения между тарелками уменьшается. В результате этого у конца тарелок всплывают более мелкие жировые шарики.

Всплывание заключается в том, что все жировые шарики, попавшие в межтарелочное пространство, движутся от нижней поверхности каждой верхней тарелки к верхней поверхности соответствующей нижней тарелки. Накопившиеся жировые шарики уменьшают плотность нижнего слоя жидкости каждого межтарелочного пространства настолько, что этот слой начинает подниматься вверх, как единое целое, образуя вдоль разделительной стенки сплошной поток сливок.

Плотность плазмы и шариков, вязкость и размеры жировых шариков зависят от качества молока и его температуры при сепарировании.

С повышением температуры вязкость молока резко понижается (при нагревании молока от 5° до 40° его вязкость уменьшается почти в 3 раза), следовательно, согласно формуле (5.3) (v_c), скорость «всплывания» жировых шариков будет увеличиваться и обезжиривание молока, при всех прочих равных условиях, будет протекать более полно. Поэтому молоко рекомендуется сепарировать подогретым до температуры $35-40^{\circ}\text{C}$.

Из формулы также видно, что жировой шарик диаметром 10 мк будет иметь скорость в 100 раз больше, чем шарик диаметром 1 мк, следовательно, более крупные шарики будут «всплывать» почти сразу же при входе в межтарелочное пространство, т. е. в верхней части тарелок.

Количество жидкости, поступающее в барабан и вытекающее из его фракционных отверстий, зависит от размера отверстия истечения поплавковой камеры и размеров обоих отверстий выхода сливок и обраты, а также от соответствующих напоров.

Для сепараторного процесса имеет значение лишь скорость протока молока в межтарелочных пространствах (v_n). Именно эта скорость определяет полноту разделения жидкости на фракции. Чем больше пустить молока, тем меньше времени жировые шарики находятся в межтарелочном пространстве и не успевают «всплывать» (обезжиривание ухудшается).

В целом рабочий процесс барабана сепаратора состоит из трех отдельных связанных между собой явлений: протока жидкости сквозь барабан, всплыва-

ния жировых шариков и образования сливочных токов. Явление всплывания жировых шариков и составляет сущность процесса сепарирования.

Количественное соотношение между сливками и обратом в зависимости от их назначения изменяется. Это достигается с помощью регулировочных устройств, принцип действия которых основан либо на изменении скорости истечения жидкости путем изменения напора, либо на изменении сечения выходного отверстия.

Наиболее распространенным является первый способ, осуществляемый регулировочным винтом, имеющим отверстие неизменного сечения (рисунок 5.4.).

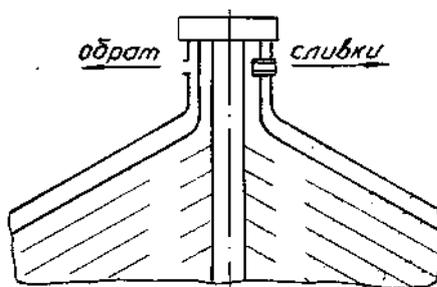


Рисунок 5.4 - Регулирование жирности сливок

Если винт ввертывать внутрь, то получим меньшую скорость истечения сливок из отверстия, так как центробежная сила по мере приближения винта к оси вращения уменьшается, а с ней уменьшается и напор. Сливок при этом будет выходить меньше, но они будут более густые, т. е. с большим содержанием жира.

Регулировочный винт может устанавливаться и на выходе обрата, а не сливок. В этом случае принцип регулирования выхода сливок сохраняется, так как всякое изменение выхода обрата соответственно отражается и на выходе сливок.

5.4 Расчет молочных сепараторов

Из анализа рабочего процесса сепаратора следует, что полнота разделения молока на фракции зависит от ряда факторов, которые можно разделить на две группы: конструктивно-режимные и технологические.

К первым относятся: частота вращения барабана, его размеры, число и расположение тарелок и другие конструктивные параметры; ко вторым: качество сепарируемого молока, характеризуемое его вязкостью, плотностью жира и обрата и размерами жировых шариков.

Взаимосвязь между этими факторами, определяющими процесс работы сепаратора, выражается уравнением производительности, с помощью которого можно дать оценку степени совершенства любого сепаратора или определить размеры при их конструировании.

Производительность Q сепаратора по барабану, т. е. с учетом степени обезжиривания молока, определяется формулой, выведенной на основании следующих соображений.

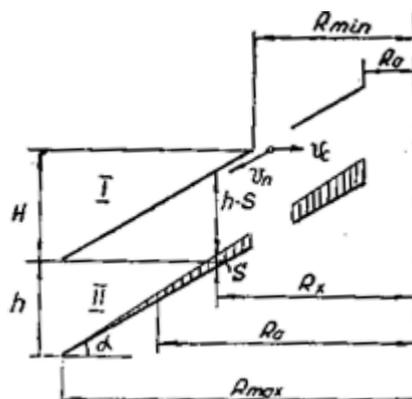


Рисунок 5.5 - К определению производительности сепаратора по барабану

Жировой шарик (в самом неблагоприятном случае) за время движения его в потоке молока в межтарелочном пространстве (рисунок 5.5), чтобы перейти в сливочный ток, должен преодолеть путь в радиальном направлении (к оси вращения барабана), равный

$$v_c \cdot T = \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (\text{из } \Delta \text{ II}),$$

где v_c - скорость «всплывания» жирового шарика, м/с;

T - время движения, с;

h - расстояние между тарелками, м;

α - угол подъема тарелки.

За это же время поток молока пройдет вниз по тарелке путь, равный

$$v_n T = \frac{H}{\sin \alpha}, \quad (\text{из } \Delta \text{ I}),$$

где v_n - скорость движения потока молока в межтарелочном пространстве, м/с;

H - высота тарелки от основания до входного отверстия для молока, м.

Взяв отношение из этих формул, будем иметь

$$\frac{v_c}{v_n} = \frac{h}{H} \cdot \frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{h}{H} \cos \alpha. \quad (5.4)$$

Подставив в уравнение (6.4) значение v_c и $v_{п}$, получим

$$\frac{\frac{1}{18} \omega^2 \cdot R_a d^2 \frac{(\rho_{п} - \rho_{жс}) \cdot 9,81}{\mu}}{Q} = \frac{h}{H} \cos \alpha,$$

$$\frac{Q}{2\pi R_x (h - S) \cdot z \cdot \cos \alpha}$$

или

$$\frac{1}{18} \omega^2 \cdot R_a d^2 \frac{(\rho_{п} - \rho_{жс}) 9,81}{\mu} 2\pi R_x (h - S) \cdot z \cdot \cos \alpha H = Q \cdot h \cdot \cos \alpha,$$

откуда

$$Q = \frac{1}{18} \omega^2 \cdot R_a \cdot d^2 \frac{(\rho_{п} - \rho_{жс}) 9,81}{\mu} 2\pi R_x \frac{(h - H)}{h} \cdot z \cdot H, \quad (5.5)$$

или, выразив угловую скорость через частоту вращения барабана, запишем

$$Q = \frac{1}{18} 4\pi^2 \cdot n^2 \cdot R_a \cdot d^2 \cdot 2\pi R_x \cdot z \cdot H \cdot \frac{(\rho_{п} - \rho_{жс}) 9,81}{\mu} \frac{(h - H)}{h}.$$

После преобразований уравнение для определения теоретической производительности сепаратора по барабану примет вид

$$Q = 13,8n^2 \cdot z \cdot H \cdot d^2 R_a R_x \frac{(\rho_{п} - \rho_{жс}) 9,81}{\mu} \frac{(h - H)}{h}.$$

Действительная производительность сепаратора, вследствие некоторой неравномерности потока молока в межтарелочном пространстве, будет меньше теоретической и определится с учетом к.п.д. барабана по формуле

$$Q = 13,8n^2 \cdot z \cdot H \cdot d^2 R_a R_x \frac{(\rho_{п} - \rho_{жс}) 9,81}{\mu} \frac{(h - H)}{h} \beta, \quad (5.6)$$

где Q - производительность сепаратора, $\text{м}^3/\text{с}$;

n - частота вращения барабана, $\text{об}/\text{с}$;

z - число тарелок;

H - высота рабочей части тарелки, м ;

d - диаметр расчетного жирового шарика, м ;

R_a - средний радиус рабочей части тарелки, м ;

R_x - радиус тарелки, соответствующий средней скорости потока, м ;

$\rho_{п}$ - плотность плазмы, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\rho_{ж}$ - плотность жирового шарика, кг/м³;
 μ - динамическая вязкость плазмы, Н с/м²;
 h - расстояние между тарелками, м;
 S - толщина слоя сливок на тарелке, м;
 β - к.п.д. барабана, равный 0,7.

В сепараторах существующих конструкций частота вращения барабана принимается равной 120-140 об/с; число тарелок 35-38; 42-45; 45-48 и т. д. и расстояние между тарелками $v = h \cos\alpha$ в пределах 0,3-0,5 мм. Угол подъема тарелок α равен 45-55°.

Диаметр d расчетного жирового шарика рекомендуется принимать при остром обезжиривании равным 1,0 мк, при среднем обезжиривании - 1,5 мк, а при удовлетворительном обезжиривании - 1,8 мк.

Средний радиус рабочей части тарелки определяется по формуле:

$$R_a = \frac{R_{\max} + R_{\min}}{2}, \quad (5.7)$$

где R_{\max} R_{\min} - максимальный и минимальный радиусы тарелок.

Значения R_x и $h - S$ могут быть вычислены по формулам:

$$R_x = \sqrt{R_{\max} \cdot R_{\min}}; \quad (5.8)$$

$$h - S = h \sqrt{\frac{R_{\min}}{R_{\max}}}. \quad (5.9)$$

Подставив найденные значения R_a , R_x и $h - S$ в формулу производительности, получим выражение для определения производительности сепаратора применительно к нормальным условиям его работы

$$Q = 6,9 \beta n^2 \cdot z \cdot H \cdot d^2 (R_{\max} + R_{\min}) R_{\min} \frac{(\rho_{\Pi} - \rho_{ж}) 9,81}{\mu} \quad (5.10)$$

Постоянство производительности каждого сепаратора открытого типа обеспечивается поплавковой камерой и калиброванным отверстием ее насадка.

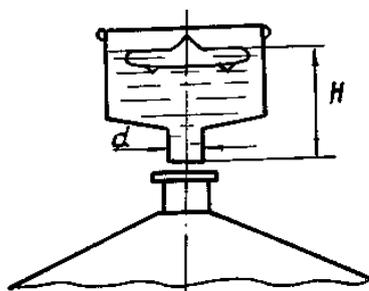


Рисунок 6.6 - К определению пропускной способности поплавковой камеры сепаратора

Пропускная способность калиброванной трубки (насадка) поплавковой камеры сепаратора (рисунок 5.6.) определяется по формуле, устанавливающей зависимость между количеством молока, вытекающего из отверстия, и высотой столба молока над отверстием:

$$Q = \mu f \sqrt{2gH}, \quad (5.11)$$

где Q - пропускная способность насадка, $\text{м}^3/\text{с}$;

μ - коэффициент истечения, равный $0,904 \div 0,97$;

$f = \frac{\pi d^2}{4}$ - площадь сечения отверстия насадка, м^2 ,

где d - внутренний диаметр отверстия, м ;

g - ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$;

H - расстояние от нижнего края насадка до уровня молока в поплавковой камере, м .

Из этой формулы следует, что изменение производительности сепаратора может быть достигнуто либо изменением диаметра насадка (d), либо изменением высоты уровня молока в поплавковой камере (H).

Совершенно очевидно, что пропускная способность поплавковой камеры не должна быть меньше производительности сепаратора по барабану.

Мощность, потребляемая сепаратором, расходуется на сообщение кинетической энергии барабану в период разгона, преодоление трения в приводном механизме, преодоление трения барабана о воздух, на гидравлические сопротивления в барабане и кинетическую энергию выбрасываемой жидкости.

По потребляемой мощности работу сепаратора подразделяют на три периода:

- 1) разгон барабана до рабочей частоты вращения пусковой период;
- 2) холостой ход, когда сепаратор работает при полной частоте вращения, но молоко в барабан еще не поступает;

3) рабочий ход, когда происходит сепарирование.

Соотношение потребной мощности по периодам работы сепаратора и расход ее на преодоление отдельных видов сопротивлений приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Данные о расходовании мощности на привод сепараторов, в % от общего расхода

Потребляемая мощность по видам расхода	Периоды			
	разгона барабана		холостого хода	рабочего хода
	вручную	двигателем		
Сообщение кинетической энергии барабану	60	30		
Трение в пусковом приспособлении	-	40		
Трение в приводном механизме	30	20	25	25
Трение барабана о воздух	10	10	75	50
Гидравлические сопротивления в барабане и энергия выбрасываемой жидкости	-	-	-	25
Итого:	100	100	100	100
Соотношение потребной мощности, %	130	140-160	70-80	100

Наибольшая мощность требуется в пусковой период на разгон барабана, наименьшая - на холостой ход.

В пусковой период энергию барабану можно сообщить или за короткий промежуток времени с помощью двигателя большой мощности, или за более продолжительный период времени двигателем меньшей мощности. Так как в сепараторах период пуска по сравнению с периодом работы очень мал, рекомендуется подбирать для привода двигатель меньшей мощности, несколько удлиняя период пуска (у современных сепараторов период пуска составляет 5-10 мин.).

Значения потребной мощности по отдельным видам сопротивлений определяются следующим образом.

1. Мощность, необходимая для сообщения кинетической энергии барабану.

Кинетическая энергия барабана составляет

$$E = \frac{9,81I \cdot \omega^2}{2}, \quad (5.12)$$

где E - кинетическая энергия барабана, Дж;

I - момент инерции барабана, кг м²;

ω - угловая скорость барабана (рабочая), рад/с.

Если разгон барабана продолжается t с, то средняя мощность, потребная для сообщения барабану кинетической энергии, будет равна

$$N_{cp} = \frac{E}{t} = \frac{9,81I \cdot \omega^2}{2t}, \quad (5.13)$$

где N_{cp} - средняя мощность, потребная для сообщения барабану кинетической энергии, Вт;

t - время разгона барабана, с.

Однако в связи с тем, что кинетическая энергия барабана за период разгона возрастает неравномерно, при расчетах необходимо принимать максимальное значение мощности

$$N_{max} = 2N_{cp} = \frac{9,81I \cdot \omega^2}{t}, \quad (5.14)$$

Момент инерции вновь проектируемого барабана сепаратора определяют расчетным путем по размерам и массе отдельных деталей барабана (днища, тарелок, крышки и др.). Для существующего барабана момент инерции определяют экспериментально методом крутильных колебаний двухниточного подвеса (рисунок 5.7.) по формуле

$$I = \frac{G \cdot a^2 T^2}{4\pi^2 \cdot l}, \quad (5.15)$$

где I - момент инерции, барабана, кг м²;

G - масса барабана, кг;

a - половина расстояния между нитями подвеса, м;

T - длительность одного полного колебания барабана, с;

l - длина нити подвеса, м.

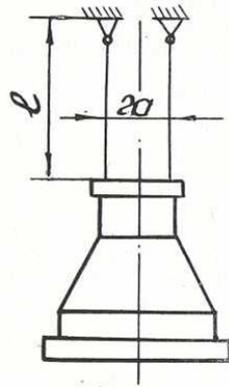


Рисунок 5.7 – Схема двухниточного подвеса барабана сепаратора

2. Мощность, необходимая для преодоления трения в пусковом механизме.

Пусковое приспособление (например, в виде фрикционной муфты с отбрасываемыми колодками) в период разгона сепаратора обеспечивает передачу мощности от ведущего вала с установившейся частотой вращения, ведомому валу с постоянно возрастающей частотой вращения. В момент включения пускового приспособления вся мощность расходуется на работу трения в пусковом механизме, так как скорость барабана сепаратора в этот момент равна нулю. По мере разгона барабана и при достижении им рабочей частоты вращения скольжение колодок прекращается и работа трения в пусковом приспособлении становится равной нулю.

Данные испытаний сепараторов (таблица 5.1) показывают, что в период пуска пусковым приспособлением поглощается в среднем 40% потребной в данный период мощности.

3. Мощность, теряемая в передаточном механизме (парацилиндрических шестерен, червячная пара, опоры вала), учитывается общим к.п.д. передаточного механизма.

$$\eta = 0,77 \div 0,85 .$$

4. Мощность, необходимая на преодоление трения барабана о воздух, зависит от размера и характера трущейся поверхности барабана и скорости его вращения. Определяется она по формуле

$$N_{cp} = \frac{9,81c \cdot \rho \cdot v^3 \cdot F}{8}, \quad (5.16)$$

где N_B - мощность, необходимая на преодоление трения барабана о воздух, Вт;

c - коэффициент; его принимают равным 0,03;

ρ - плотность воздуха, кг/м³;

v - окружная скорость по наибольшему диаметру барабана, м/с;

F - размер наружных поверхностей барабана, м².

5. Мощность, необходимая для преодоления гидравлических сопротивлений в барабане, очень мала. По опытным данным она составляет менее 10 Вт на 1000 л сепарируемого молока в 1 час, поэтому ею при расчетах можно пренебречь.

6. Мощность, необходимая для сообщения кинетической энергии выбрасываемым из барабана продуктам сепарирования, определяется по формуле

$$N_k = \varphi \frac{9,81Q \cdot v^2}{2g} = \varphi \frac{9,81Q4\pi^2 n^2 r^2}{2g}, \quad (5.17)$$

где N_k - мощность, необходимая для сообщения кинетической энергии выбрасываемым из барабана продуктам сепарирования, Вт;

φ - коэффициент, учитывающий радиальную скорость струи; $\varphi = 1 \div 1,1$;

Q - производительность сепаратора, кг/с;

v - окружная скорость на выходе сливок, м/с;

g - ускорение силы тяжести, м/с²;

n - частота вращения барабана, об/с;

r - расстояние от наружного конца выходного отверстия для сливок до центра вращения, м.

Итак, необходимая мощность в различные периоды работы сепаратора открытого типа будет определяться суммированием ее значений по отдельным видам сопротивлений, а именно:

1. Мощность разгона будет равна

$$N_p = \frac{N_{\text{макс}} + N_{\epsilon}}{\eta_m} = \left(\frac{I\omega^2}{t} + \frac{c\rho v^3 F}{8} \right) \frac{9,81}{\eta_m}, \quad (5.18)$$

где N_p - мощность, необходимая для разгона сепаратора, Вт.

2. Мощность холостого хода

$$N_{x.x} = \frac{N_{\epsilon}}{\eta_m} = \frac{9,81 \cdot c\rho v^3 F}{8\eta_m}, \quad (5.19)$$

где $N_{x.x}$ - мощность, необходимая на холостой ход сепаратора, Вт.

3. Мощность рабочего хода

$$N_{p.x.} = \frac{N_e + N_k}{\eta_m} = \left(\frac{c\rho v^3 F}{8} + \frac{Q4\pi^2 n^2 r^2}{2g} \right) \frac{9,81}{\eta_m} \quad (5.20)$$

где $N_{p.x.}$ - мощность, потребная на рабочий ход сепаратора, Вт.

Общий расход энергии у герметических сепараторов остается в тех же пределах, что и у открытых сепараторов.

Литература

1. Механизация и технология животноводства / В.В. Кирсанов, Д.Н. Мурсидзе, В.Ф. Некрашевич и др. М.: КолосС, 2007. 584 с.
2. Сельскохозяйственная техника и технологии: пособия для студентов высш. учеб. заведений / И.А. Спицын, А.Н. Орлов, В.В. Лященко и др.; под ред. И.А. Спицына. М.: КолосС, 2006. 647 с.
3. Купреенко А.И., Исаев Х.М. Техника и технологии в животноводстве [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособия по дисциплине Техника и технологии в животноводстве. 2014 // moodle.bcsha.com.
4. Механизация и автоматизация технологических процессов в животноводстве / Н.И. Стружкин, А.В. Яшин, А.В. Мачнев, П.Н. Хорев, И.Н. Сёмов, С.В. Байкин. Пенза: РИО ПГСХА, 2014. // <http://rucont.ru/efd/275837>.
5. Патрушев А.А., Козлов А.Н., Тюхтин А.И. Животноводческие машины: справ. пособие для курсового и дипломного проектирования по механизации животноводства // 2011.: <http://rucont.ru/efd/144986>.
6. Механизация и автоматизация животноводства / И.В. Успенская, Е.В. Янзина, А.Л. Мишанин, В.В. Новиков. Самара: РИЦ СГСХА, 2013. // <http://rucont.ru/efd/231886>.
7. Изучение измельчителей корнеклубнеплодов: лабораторные работы / сост.: С.М. Ведищев, А.В. Прохоров, А.В. Брусенков. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. 36 с.
8. Чугунов А.И. Механизация животноводства: мет. рекомендации по изучению дисциплины и задания для контрольной работы и курсового проекта. М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2002. 29 с. // <http://window.edu.ru/resource/945/45945>.
9. Жигжитов А.В. Механизация процессов консервирования и приготовления кормов: учеб.-метод. изд. Улан-Удэ: Изд-во ФГОУ ВПО "БГСХА им. В.Р. Филиппова", 2008. 110 с. // <http://window.edu.ru/resource/738/61738>.
10. Парфенов В.С., Яшин А.В., Парфенов В.С. Механизация и технология животноводства. Ч. 2. Рабочая тетрадь. 2-е изд., перераб. и доп. Пенза: РИО ПГСХА, 2012. // <http://rucont.ru/efd/207600>.

Учебное издание

Купреенко Алексей Иванович
Исаев Самир Хафизович
Исаев Хафиз Мубариз-оглы
Слезко Елена Ивановна

Механизация доения коров и первичной обработки молока

Учебно-методическое пособие
для бакалавров направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 28.11.2022 г. Формат 60x84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Усл. п. л. 4,12. Тираж 25 экз. Изд. № 7435.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ