

637

К17

Л. В. Калинина

Общая технология **МОЛОКА**

и молочных продуктов



ДЕЛИ
ПЛЮС

051
К17

Л. В. Калинина

Общая технология молока и молочных продуктов

Одобрено Учебно-методическим объединением по образованию в области технологии сырья и продуктов животного происхождения в качестве учебника при подготовке бакалавров, обучающихся по направлению 260200 «Технология продуктов животного происхождения» (профиль «Технология молока и молочных продуктов») и по специальности 260303 «Технология молока и молочных продуктов»

Москва
Дели плюс
2012

УДК 637.1(075.8)

ББК 30.95(я73)

К17

Рецензенты:

докт. техн. наук, профессор *Л.А. Остроумов*
(Кемеровский технологический институт пищевой промышленности)
докт. техн. наук, профессор *И.А. Евдокимов*
(Северокавказский государственный технический университет)

Калинина Л.В.

К17 Общая технология молока и молочных продуктов [Текст] : учебник – М.: ДеЛи плюс, 2012. – 240 с.

ISBN 978-5-905170-18-8

В учебнике приведены виды молочного сырья в соответствии с основными понятиями, данными Федеральным законом №88-ФЗ от 12.06.2008 (с учетом редакции Федерального закона №163-ФЗ) – Технический регламент на молоко и молочную продукцию. Показаны требования к качеству молочного сырья, установленные Федеральными законами №88-ФЗ и №163-ФЗ. Рассмотрено влияние зоотехнических и ветеринарных факторов на состав и свойства молока, описаны пороки молока. Подробно рассмотрены основные виды обработки молочного сырья – сепарирование, нормализация, гомогенизация, пастеризация, стерилизация. Приведены классические и современные взгляды на гомогенизацию, мембранные технологии, приобретающие все большее значение в технологии молочной продукции. Даны иллюстрации различных видов оборудования, обслуживающего технологические процессы. Приведены необходимые сведения по санитарной обработке технологического оборудования с учетом требований Технического регламента на молоко и молочную продукцию.

Учебник предназначен студентам высших учебных заведений, а также может быть полезен работникам молочной промышленности.

Учебное издание

Калинина Людмила Валентиновна

Общая технология молока и молочных продуктов

Главный редактор *О.В. Саламаха*

Редактор *Г.И. Елагин*

Художественный редактор *Н.И. Смирнова*

Технический редактор *О.Д. Хилиль*

Художник *Л.Б. Саламаха*

Подписано в печать 19.03.12. Формат 60×90 1/16. Бумага офсет № 1 Гарнитур «Таймс»

Усл. печ. л. 15,0. Уч. изд. л. 13,1. Тираж 1000 экз. (1-й завод 1–500 экз.) Заказ № 246.

Издательство «ДеЛи плюс».

141111, Москва, 3-й проезд Перова Поля, д. 8А, Бизнес-центр «Перово Поле», офис 421.

тел (495) 646-24-43; www.deli.ru

Отпечатано в ООО ПФ «Полиграф-Книга» 160001 г. Вологда, ул. Челюскинцев, 3.

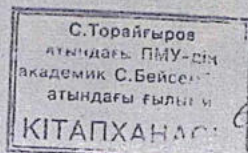
УДК 637.1(075.8)

ББК 30.95(я73)

Калинина Л.В., 2012

© Оформление. ДеЛи плюс, 2012

ISBN 978-5-905170-18-8



Введение

Молоко – это продукт нормальной физиологической секреции молочных желез коровы, овцы, козы, буйволицы, верблюдицы, кобылы, полученный от одного или более животных от одного или нескольких доений. В зависимости от вида животного молоко называют коровьим, козьим, овечьим и т. д.

Молоко как исключительно ценный пищевой продукт имеет огромное значение в питании человека, поскольку молоко и молочные продукты содержат весь спектр питательных веществ, в том числе и незаменимых, необходимых человеку для жизни.

Способы и условия получения, а также хранения и транспортирования молока в значительной степени влияют как на его качество, так и на качество вырабатываемых из него молочных продуктов. Нарушение необходимых требований может не только вызвать быструю порчу молока, сделать его непригодным к переработке в готовые продукты, но и привести к заражению патогенными микроорганизмами, способными вызвать у потребителя инфекционные заболевания.

Впервые вопрос о разделении молока на сорта (категории) был поставлен в Женеве в 1908 г. на Международном съезде по борьбе с фальсификацией молока. Там же было дано определение: «Молоко – это цельный продукт полного и непрерывного удоя самки, здоровой, хорошо выкормленной и не переутомленной. Оно должно быть чисто собрано и не содержать молозива». Это же определение было подтверждено на Интернациональном конгрессе по фальсификации молока в Париже в 1909 г. Проведение подобных съездов и конгрессов по качеству молока говорит о том, что уже в начале XX века на Западе и, в меньшей степени, в России начала развиваться новая отрасль – молочная промышленность. На предприятиях молочной промышленности можно было перерабатывать тонны молока, что требовало закупок сборного молока – сырья, качество которого

должно было определяться соответствующими законодательными документами. Это побудило ученых нашей страны еще в 20-х годах прошлого столетия поднять вопрос о необходимости разработки стандарта на заготавливаемое молоко.

Отечественные ученые, обобщая зарубежный опыт и результаты собственных исследований, пришли к следующим выводам. Качество молока в первую очередь зависит от санитарно-гигиенических условий его получения на фермах, в индивидуальных хозяйствах и пр. Сырье необходимо подвергать обработке (очищать от механических примесей, охлаждать и т. д.). В противном случае оно через 2–3 ч начнет терять свои свойства, а еще через некоторое время не будет пригодно ни в пищу, ни в переработку. Более того, в результате накопления токсинов, которые не уничтожаются при тепловой обработке, оно становится опасным для здоровья человека.

Качество молока определяется его химическим составом (содержанием белков, жиров, углеводов, минеральных веществ, витаминов, ферментов и пр.), а также физико-химическими показателями, плотностью, кислотностью, органолептическими свойствами и др. Кроме того, важными показателями качества являются температура, при которой хранится молоко после доения, общая бактериальная обсемененность и количество соматических клеток.

Кроме перечисленных показателей, в некоторых странах, например, в США, Великобритании, Бельгии и др., контролируют молоко на наличие антибиотиков, пестицидов, тяжелых металлов, остатков моющих и дезинфицирующих средств; в Нидерландах и Норвегии – на содержание психотрофных микроорганизмов. Особенно высокие требования предъявляют к молоку высшей категории качества. Во всех странах молоко сразу после выдаивания охлаждают до 1–7 °С. В большинстве стран обязательной является поставка молока потребителю в охлажденном виде. Продолжительность хранения молока на ферме четко определена. В основу классификации сырого молока по качеству положены его бактериальная обсемененность, которая колеблется для молока высшей категории от 20 тыс./см³ (в Великобритании) до 500 тыс./см³ (в Венгрии) (в большинстве стран – меньше 100 тыс./см³), и содержание соматических клеток – от 250 тыс./см³ (в Великобритании) до 750 тыс./см³ (в Нидерландах) (в большинстве стран – ≤ 300, ≤ 500 тыс./см³). Возможную фальсификацию молока водой контролируют по температуре его замерзания.

Молоко высшей категории качества используют для производства продуктов детского питания, диетических продуктов, сгущенного, стерилизованного и специального пастеризованного молока.

Во всем мире применяют дифференцированную плату за молоко с учетом массовой доли жира, белка или СОМО. Массовая доля жира молока высшей категории качества колеблется от 3,35% (Чехия) до 4,2% (Дания), белка – от 3,2% (США) до 3,4% (Дания, Нидерланды, Финляндия), СОМО – от 8,2% (Венгрия) до 8,7% (Великобритания). В нашей стране определены базисные нормы массовых долей жира и белка, оплата за которые принята за единицу. Отклонения в меньшую сторону приводят к снижению цены на молоко, в большую – к повышению цены на 0,1%. Отдельные молочные предприятия дифференцируют оплату и по некоторым другим показателям (например, температура молока при приемке, его плотность и пр.) Эти меры повышают заинтересованность поставщика в улучшении качества поставляемого молока и, соответственно, в улучшении условий получения молока в хозяйствах.

Требования к качеству молока при закупках приведены в ГОСТ 52054-2003 «Молоко натуральное коровье – сырьё» с изменениями в соответствии с Техническим регламентом на молоко и молочную продукцию (Федеральный закон №88-ФЗ в редакции №163-ФЗ) В стандарте молоко подразделяют на четыре сорта: высший, первый, второй и несортное. Введен показатель «температура заморозания молока», ужесточен микробиологический контроль сырья. Указана необходимость охлаждения молока сразу же после его получения до температуры $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$. Установлена оплата по содержанию белка как показателю полноценности молока-сырья. Стандартом не допускается наличие в молоке ингибирующих веществ, контролируется содержание пестицидов, токсичных элементов, тяжелых металлов, афлатоксина М1, радионуклидов.

Поскольку требования ГОСТ 52054-2003 ниже требований, принятых странами ЕЭС и рекомендуемых ММФ, то были введены соответствующие дополнения и изменения подходов к сохранению и улучшению качества молочного сырья Федеральным законом №88-ФЗ от 12.06.08, которые, в свою очередь, были дополнены редакцией Федерального закона №163-ФЗ от 22.07.2010 г.

Повышение качества сырого молока, закрепленное нормативными документами, входит в круг интересов не только потребителя этой продукции, но прежде всего производителя, так как только из сырья надлежащего качества можно получить высококачественные молочные продукты в расширенном ассортименте.

Не менее важными, чем качество сырья, являются условия переработки молока на молочном предприятии. Нарушение технологического процесса ведет к потере молоком своей пищевой ценности и превращению его из полезного во вредный для здоровья продукт.

Как говорил известный российский ученый Густав Антонович Кук, молоко — исключительно трудное сырье для промышленной переработки, поскольку оно сильно подвержено порче от многообразных причин и может создать предпосылки для опасных заболеваний. Еще в 1930-х годах им написано две книги: «Технические основы молочного хозяйства» и «Теория и расчет основного оборудования предприятий молочной промышленности», где показана взаимосвязь технологии молока и молочных продуктов и машиноведения. Он подчеркивал, что при переработке молока необходимо учитывать его свойства, так как изменение этих свойств в процессе переработки недопустимо. Г.А. Кук обращал внимание специалистов также на важность таких процессов первичной обработки молока, как фильтрация и охлаждение после доения. Ученый ратовал за необходимость разработки таких режимов промышленной переработки, которые бы гарантировали высокое качество молочных продуктов с максимальным сохранением природных свойств молока.

Большой научный вклад в развитие молочной отрасли внесли также ученые П.Ф. Дьяченко, Н.Н. Липатов, В.Д. Сурков, И.И. Волчков, В.В. Вайткус, Ю.П. Золотин и многие другие.

В настоящее время задачей специалистов и ученых, занятых в молочной отрасли, является сведение к минимуму нежелательных последствий технологической обработки молока (механической и тепловой) и придание ему полезных свойств, обеспечивающих пищевую и потребительскую ценность готовых продуктов.

Глава 1. СЫРЬЕ ДЛЯ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1.1. Виды молочного сырья

Сырьем для производства молочных продуктов являются:

- цельное сырое коровье молоко;
- сырые сливки;
- вторичное молочное белково-углеводное сырье (сырое обезжиренное молоко, пахта и молочная сыворотка).

Федеральный закон № 88-ФЗ от 12.06.2008 (с учетом редакции Федерального закона № 163-ФЗ) – Технический регламент на молоко и молочную продукцию дают следующие основные понятия:

Молоко – продукт нормальной физиологической секреции молочных желез сельскохозяйственных животных, полученный от одного или нескольких животных в период лактации при одном или более доениях, без каких-либо добавлений к этому продукту или извлечений каких-либо веществ из него.

Сырое молоко – молоко, не подвергавшееся термической обработке при температуре более чем 40 градусов Цельсия, или обработке, в результате которой изменяются его составные части.

Цельное молоко – молоко, составные части которого не подвергались воздействию посредством их регулирования.

Вторичное молочное сырье – побочный продукт переработки молока, молочный продукт с частично утраченными идентификационными признаками или потребительскими свойствами (в том числе продукты, отозванные в пределах их сроков годности, но соответствующие предъявляемым к продовольственному сырью требованиям безопасности), предназначенные для использования после переработки.

Побочный продукт переработки молока – полученный в процессе производства продуктов переработки молока сопутствующий продукт.

Обезжиренное молоко – молоко с массовой долей жира менее 0,5 процента, полученное в результате отделения жира от молока.

Сливки – молочный продукт, который произведен из молока и (или) молочных продуктов, представляющий собой эмульсию жира и молочной плазмы, массовая доля жира в котором составляет не менее чем 9 процентов.

Сырые сливки – сливки, не подвергавшиеся термической обработке при температуре более чем 45 градусов Цельсия.

Пахта – побочный продукт переработки молока, полученный при производстве масла из коровьего молока.

Молочная сыворотка (подсырная, творожная или казеиновая сыворотка) – побочный продукт переработки молока, полученный при производстве сыра (подсырная сыворотка), творога (творожная сыворотка) и казеина (казеиновая сыворотка).

Цельное молоко – это основной вид молочного сырья для производства молочных продуктов. Высокая пищевая ценность молока обусловлена оптимальным содержанием в нем белков, жиров, углеводов, минеральных веществ и витаминов. Соотношение и форма, в которой компоненты присутствуют в молоке, способствуют их хорошей переваримости и усвояемости. В настоящее время известно более 200 различных компонентов молока. Главные из них – вода, белки, жиры, углеводы, минеральные вещества; второстепенные – витамины, ферменты, гормоны, фосфатиды и т. д. Кроме того, в молоке могут быть обнаружены посторонние вещества (антибиотики, тяжелые металлы, радионуклиды, афлатоксины и др.), попавшие туда различными путями.

Наряду с цельным молоком в качестве молочного сырья для производства молочных продуктов используют сливки, полученные сепарированием цельного молока, обезжиренное молоко, пахту и молочную сыворотку.

При сепарировании или нормализации в потоке цельного молока в качестве основного (при сепарировании) или побочного (при нормализации в потоке) продукта получают сливки с разной массовой долей жира. Большая часть молочного жира концентрируется в сливках. Но не это придает им основную биологическую ценность. В сливки переходят белково-лецитиновые комплексы, а также биологически активные компоненты молочного жира – незаменимые полиненасыщенные

жирные кислоты, такие, как линолевая, линоленовая, арахидоновая, которые способствуют нормализации холестерина обмена и тем самым предупреждают развитие атеросклероза у человека.

Сливки используют в качестве ценного молочного сырья при производстве высокожирных молочных продуктов (питьевых сливок, сметаны, масла и др.).

При сепарировании цельного молока, кроме сливок, получают обезжиренное молоко, в которое переходит основная часть белковых веществ, лактозы, минеральные вещества и часть биологически активных веществ молока, кроме жирорастворимых витаминов. Массовая доля сухих веществ в обезжиренном молоке составляет около 9%. Молочный жир представлен лишь 0,05% – в основном в виде мелких жировых шариков, попавших в плазму молока при сепарировании. Обезжиренное молоко рекомендуется использовать в качестве сырья для производства диетических пищевых молочных продуктов и кормовых целей.

Пахта образуется при выработке всех видов коровьего масла из сливок. Особая ценность пахты заключается в том, что в нее из сливок переходят липотропные вещества: фосфатиды и лецитин, участвующие в нормализации жирового и холестерина обмена в организме. Пахта содержит полноценные молочные белки, лактозу, минеральные вещества и биологически активные вещества. Содержание молочного жира (0,5%) в пахте ниже, чем в цельном молоке, но выше, чем в обезжиренном. Пахта, так же как и обезжиренное молоко, является ценным сырьем для производства молочных продуктов. Кроме того, ее используют для нормализации молочного сырья по массовой доле жира при производстве многих молочных продуктов.

Молочная сыворотка – побочный продукт, получаемый при производстве сыра, творога и казеина. В зависимости от применяемого способа производства она имеет некоторые различия в составе, однако в среднем в ней содержится около половины сухих веществ цельного молока. Это позволяет применять молочную сыворотку для получения сывороточных белков и молочного сахара – продуктов, используемых в пищевом, молочном, косметическом и других производствах. Есть и другие способы применения молочной сыворотки, в том числе непосредственно для выработки из нее напитков.

Молочное сырье имеет качественную характеристику, обусловленную составом, свойствами, пищевой, биологической и энергетической ценностью.

1.2. Характеристика молочного сырья

Энергетическая ценность молочного сырья обусловлена входящими в его состав компонентами (жирами, белками, углеводами и минеральными веществами).

Энергетическую ценность E (кДж) в расчете на 1000 г молочного сырья можно рассчитать по следующей формуле:

$$E = (39Ж + 17,2Б + 16,7У) 10,$$

где $Ж$ – массовая доля жира; $Б$ – массовая доля белка; $У$ – массовая доля углеводов; 39; 17,2; 16,7 – энергетическая ценность 1 г соответственно жира, белка, углеводов; 10 – коэффициент пересчета на 1000 г молочного сырья.

Усредненная энергетическая ценность молочного сырья (кДж): цельное молоко – 2805, обезжиренное молоко – 1440, пахта – 1599, молочная сыворотка – 1013.

1.2.1. Состав молочного сырья

Химический состав молочного сырья (усредненные данные) представлены в табл. 1.1.

1.1. Химический состав молочного сырья, %

Компоненты	Цельное молоко	Сливки	Обезжиренное молоко	Пахта	Молочная сыворотка
Вода	87,5	59,7	91,25	90,9	94,2
Белки	3,2	2,4	3,3	3,3	0,8
Жиры	3,6	35,0	0,05	0,5	0,2
Углеводы	4,8	2,7	4,7	4,7	4,2
Минеральные вещества	0,9	0,2	0,7	0,6	0,6

Массовая доля жира 35%

Вода. В молоке содержится 85–89% воды. Вода выполняет различные функции и играет важную роль в биохимических процессах, происходящих при производстве молочных продуктов. Вода обладает свойством образовывать упорядоченную тетраэдрическую структуру. В такой структуре каждая молекула воды окружена четырьмя другими молекулами воды. Образование упорядоченной структуры объясняется поляризованностью молекулы воды: каждый из двух атомов водорода молекулы обладает частичным положительным зарядом, а атом кислорода несет частичный отрицательный заряд. Следовательно, молекула воды представляет собой электрический

диполь. Дипольные молекулы воды могут ориентироваться и связываться как друг с другом, так и с другими молекулами.

Большая часть воды в молоке (83,5–84%) находится в свободном состоянии (свободная вода) и может принимать участие в химических реакциях. Такая вода представляет собой раствор различных органических и неорганических веществ (углеводов, солей и т. д.). Ее можно удалить из молока при сгущении или сушке.

Меньшая часть воды (3–3,5%) находится в связанном состоянии (адсорбционно-связанная вода). Она удерживается силами межмолекулярного притяжения около поверхности коллоидных частиц (белков, фосфолипидов, полисахаридов). Гидратация белковых молекул обусловлена наличием на их поверхности полярных групп (гидрофильных центров). К последним относят карбоксильные, аминные, гидроксильные и другие группы. При адсорбировании диполи воды располагаются несколькими слоями вокруг гидрофильных центров белковой молекулы.

Первый слой (ориентированные неподвижные молекулы воды, прочно связанные с белком) называют гидратной, или водной, оболочкой. От свойств гидратных оболочек зависит стабильность белковых частиц и жировых шариков молока. Последующие слои молекул воды связаны с белком менее прочными связями. По количеству адсорбционно-связанной воды обычно судят о гидрофильности белков, под которой понимают способность связывать воду первого и последующего слоев.

Адсорбционно-связанная вода по своим свойствам заметно отличается от свободной воды. Она не замерзает при низких температурах (ниже -40°C), не растворяет лактозу, соли и т. д., ее нельзя удалить при сгущении и сушке.

Особая форма связанной воды – химически связанная вода. Это так называемая кристаллизационная вода. В молоке она связана с кристаллами молочного сахара.

Белки. В процессах обмена и построения веществ, присущих живому организму, главенствующее положение занимают белки. Как составная часть живой клетки белки являются основой всех живых организмов и выполняют множество функций: структурную, транспортную, защитную, каталитическую, гормональную и др.

В коровьем молоке белки составляют приблизительно четвертую часть общего содержания сухих веществ молока (в среднем 3,2%). В состав молока входят три группы белков: казеин – около 80% всех белков молока; сывороточные белки – около 20% белковых веществ молока; белки оболочек жировых шариков – около 1% всех белков молока. Основные фракции белков молока представлены в табл. 1.2.

1.2. Состав и содержание белков в коровьем молоке

Белки	Содержание в молоке	
	г/кг	% общего содержания белков
Казеин, всего	26,0	79,5
В том числе:		
α_{s1} -казеин	10,0	30,6
α_{s2} -казеин	2,6	8,0
β -казеин	10,1	30,8
κ -казеин	3,3	10,1
Сывороточные белки, всего	6,3	19,3
В том числе:		
α -лактоальбумин	1,2	3,7
β -лактоглобулин	3,2	9,8
альбумин сыворотки крови	0,4	1,2
иммуноглобулины	0,7	2,1
протеозопептоны	0,8	2,4
Белки оболочек жировых шариков	0,4	1,2
Общее содержание белка	32,7	100,0

Степень чистой утилизации молочных белков в организме человека составляет 75%.

Основа белковых молекул – аминокислоты, соединенные между собой пептидными связями. Известно более 20 аминокислот, 18 из них обнаружены в молочном белке, в том числе 8 незаменимых, т. е. не синтезируемых в организме человека. Большая часть из них (метионин, триптофан, изолейцин, фенилаланин, валин, лейцин) в белке молока содержится в количествах, значительно превышающих их содержание в белках мяса, рыбы и растительных продуктов.

В белках молока содержатся углерод, кислород, водород, азот, фосфор и сера. Однако определяющими для характеристики белков являются азот, сера и фосфор.

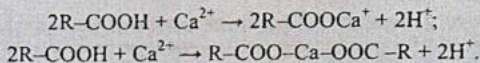
Казеин. Основной белок молока по количеству и технологическому значению – казеин. Его содержание в молоке колеблется от 2,3 до 2,9%. Казеин представляет собой комплекс более чем из 30 фракций, основными из которых являются α_{s1} - (38%), α_{s2} - (10%); β - (39%) и κ -казеины (13%). Индекс S означает, что эта фракция казеина осаждается под действием ионов кальция, цифры 1 и 2 показывают, что существуют еще более мелкие, второстепенные фракции. Фракции казеина имеют массу от 19000 до 25000, различный аминокислотный состав, генетически изменчивые варианты, различающиеся одним или двумя аминокислотными остатками в полипептидной цепи, а также отношением к ионам кальция и сычужному ферменту.

Кроме того, в молоке содержатся производные, или фрагменты, главных фракций казеина, образующиеся в результате расщепления последних под действием протеолитических ферментов молока. Например, фрагментом β -казеина является γ -казеин. Нормальное свежее молоко содержит около 3% γ -казеинов, но их количество может достигать 10% и более при заболевании животных маститом, в конце лактации, в процессе длительного хранения молока при 2–4 °С и т. д. При значительном содержании γ -казеинов в молоке ухудшаются его технологические свойства, в частности, молоко не свертывается сычужным ферментом, что не позволяет использовать его в производстве творога и сыра.

Все фракции казеина – фосфопротеиды, т. е. содержат остатки фосфорной кислоты, присоединенные к серину моноэфирной связью. Этим определяется их чувствительность к ионам кальция. α -Казеин содержит 11 остатков серинфосфата, α_{S1} -казеин – 8, β -казеин – 5 и κ -казеин – 1. Наиболее чувствительны к ионам кальция первые три фракции казеина. В их присутствии они образуют кальциевые мостики, агрегируют и выпадают в осадок.

κ -Казеин является фосфогликопротеидом, нечувствителен к ионам кальция, поэтому, располагаясь на поверхности мицеллы казеина, выполняет защитную функцию по отношению к α_{S1} - и β -казеинам. κ -Казеин содержит углеводы и чувствителен к сычужному ферменту, под действием которого распадается на гидрофобный пара- κ -казеин (выпадающий в осадок) и гидрофильный гликомакропептид (остающийся в растворе и отделяющийся вместе с сывороткой).

По определению Кинселлы, казеины – это группы гетерогенных фосфопротеидов, самоассоциирующихся в мицеллы в присутствии кальция, цитратов и фосфатов. Главными белковыми компонентами казеиновых мицелл являются α_{S1} -, α_{S2} -, β - и κ -казеины, основными минеральными компонентами – кальций и фосфор. В небольших количествах мицеллы содержат цитрат, магний, калий и натрий. Углеводная часть казеиновых мицелл представлена сиаловой кислотой, галактозой и галактозаминном. Кальций и фосфор в казеиновых мицеллах содержатся в двух формах: неорганический кальций входит в состав коллоидного фосфата и цитрата кальция, органический кальций присоединен к фосфатным и карбоксильным группам казеина. Ионы кальция взаимодействуют с остатками фосфорной кислоты, соединяясь с одной или двумя ее гидроксильными (ОН) группами; кроме того, они присоединяются к карбоксильным группам (COO) казеина. Во втором случае кальций имеет свободную связь и может образовывать кальциевый мостик между расположенными друг против друга серинфосфатными группами двух молекул казеина:



Такой кальций играет определенную роль при образовании казеиновых мицелл и называется *структурообразующим*, так как объединяет две молекулы казеина. Кальциевые мостики способствуют агрегации коллоидных частиц казеина при сычужной и кальциевой коагуляции. Фосфор коллоидного фосфата кальция, так же как и кальций, считают неорганическим фосфором, а фосфор, входящий в состав казеина, – органическим фосфором. Соединять молекулы казеина между собой наподобие кальциевых мостиков может и неорганический фосфор в виде коллоидного фосфата кальция, который наряду с ионами кальция может присоединяться к серинфосфатным группам молекул казеина.

Комплекс органического кальция с казеином называется *казеинатом кальция*, а комплекс казеината кальция с коллоидным фосфатом кальция – *казеинаткальцийфосфатным комплексом* (ККФК).

Мицеллы ККФК представляют собой почти сферические, рыхлые, пористые, сильно гидратированные частицы со средним диаметром около 100 нм (1 нм = 10^{-9} м). Они состоят из субмицелл, соединенных друг с другом с помощью коллоидного фосфата кальция, гидрофобных и электростатических взаимодействий, водородных и других связей. Сами субмицеллы состоят из молекул казеината кальция. Субмицеллы объединяются в результате гидрофобных и электростатических взаимодействий таким образом, что на поверхности образовавшейся мицеллы располагается к-казеин, гидрофобные N-концевые участки которого направлены к ядру, а гидрофильные С-концевые участки с углеводами – в окружающую среду. Внутри казеиновой мицеллы концентрируются чувствительные к ионам кальция α_{S1} -, α_{S2} - и β -казеины. Последние являются *дифильными соединениями*, т. е. в одной и той же молекуле содержат строго ограниченные полярные (гидрофильные) и неполярные (гидрофобные) участки.

Согласно расчетам Немети и Шераги, гидрофобные взаимодействия усиливаются при повышении температуры до 60 °С, а затем начинают ослабевать. При температуре ниже 5 °С гидрофобные взаимодействия будут минимальными.

Взаимодействие разноименно заряженных групп под действием электростатических сил обычно не играет существенной роли в стабилизации белковых мономеров и полимеров. В водных растворах ионизированные группы окружены диполями воды и взаимодействие между ними ослаблено. Однако одновременное притяжение многих ионизированных групп при взаимодействии участков белко-

вых субъединиц, усиленных гидрофобным окружением, может создавать довольно сильную электростатическую стабилизацию белков или способствовать их агрегированию.

Особый интерес представляют электростатические взаимодействия между фосфатными и карбоксильными группами фракций казеина и катионом Ca^{2+} . Играющий роль мостика при соединении двух фосфатных групп казеина кальций способствует снижению его отрицательного заряда. При этом появляется возможность для гидрофобного взаимодействия субмицелл, что способствует их агрегации.

Водородные и дисульфидные связи присутствуют в субмицеллах в незначительных количествах и не влияют на стабилизацию субмицелл. Поэтому можно сделать вывод, что главную роль в формировании и стабилизации субмицелл и мицелл казеина играют гидрофобные взаимодействия, определенное значение имеют также и электростатические взаимодействия.

Сывороточные белки. Наряду с казеином в молоке содержатся так называемые сывороточные белки, т. е. белки, остающиеся в сыворотке после осаждения казеина в изoeлектрической точке. Они составляют около 20% всех белков молока. К ним относятся β -лактоглобулин (52%), α -лактальбумин (23%), иммуноглобулины (16%), альбумин сыворотки крови (8%), лактоферрин и другие минорные белки (1%). Сывороточные белки содержат больше незаменимых аминокислот, чем казеин, поэтому с точки зрения физиологии питания их следует считать наиболее полноценными. В сывороточных белках серы больше, чем в казеине. Технологическое значение имеет сера, образующая свободные сульфгидрильные группы. Наличие серы в сывороточных белках обусловлено присутствием серосодержащих аминокислот – метионина, цистина, цистеина. Они влияют на изменения белков в процессе переработки, например, на денатурацию и органолептические показатели при тепловой обработке.

Сывороточные белки характеризуются равномерным распределением полярных и неполярных аминокислот вдоль полипептидной цепи, низким содержанием пролина, поэтому имеют компактную глобулярную конформацию со значительной спирализацией цепей и средним диаметром от 15 до 50 нм. Из-за малого размера их количество в молоке превышает число казеиновых мицелл приблизительно в 1500 раз.

Свойства белков. При производстве кисломолочных продуктов и сыров используют способность белков к коагуляции и денатурации. Белки молока в водных растворах находятся в виде коллоидных частиц, размеры которых колеблются от 1 до 200 нм. Устойчивость коллоидных систем обусловлена наличием на поверхности частиц элек-

трического заряда и гидратной оболочки. Изменение электрического заряда и нарушение гидратной оболочки приводят к осаждению (коагуляции) частиц. Глобулярные белки, к которым принадлежит и казеин, за счет преобладания в них остатков кислых аминокислот приобретают в растворах избыток отрицательных зарядов. При определенных условиях (нагревании молока, увеличении концентрации ионов водорода и кальция вследствие введения кислот и хлорида кальция) отрицательный заряд казеина можно снизить. Величина рН, при которой наблюдается равенство положительных и отрицательных зарядов, называется *изоэлектрической точкой*. У казеина изоэлектрическая точка находится в пределах рН 4,6–4,7. При этом значении рН белковые частицы теряют способность передвигаться в электрическом поле. Гидратация казеина в таких условиях проявляется слабо, и наблюдается самая низкая его стабильность. Силы электрического отталкивания между белковыми молекулами в этой точке минимальны. Это приводит к тому, что белки в изоэлектрической точке агрегируют (укрупняются) и коагулируют (выпадают в осадок). При коагуляции происходит обратимое осаждение белков, т. е. при определенных условиях их снова можно перевести в нативное состояние. Свойство казеина осаждаться в изоэлектрической точке используют при производстве всех кисломолочных продуктов и сыров.

Денатурация белков молока может быть вызвана воздействием высоких температур; давлением и напряжением сдвига; ультрафиолетовым или ионизирующим излучениями; действием ферментов, органических растворителей (спирт, ацетон), химических веществ, реагирующих с функциональными группами на поверхности белка, и другими факторами. Денатурация – это изменение структуры белка по сравнению с его нативным состоянием. Результат денатурации – разворачивание третичной и вторичной структур и высвобождение расположенных внутри них функциональных групп. Разрыв гидрофобных связей, поддерживающих третичную и вторичную структуры белков, ведет к разворачиванию нативной специфической структуры молекул белков и образованию произвольной конфигурации. Связи, ранее поддерживающие структуру, высвобождаются и могут по-новому ориентироваться. Функциональные группы, которые первоначально размещались внутри глобул белков, а теперь также участвуют в формировании связей, вступают во взаимодействие с другими молекулами белка. При этом белок теряет растворимость, агрегирует и коагулирует.

Денатурация молочных белков, вызванная нагреванием, действием ферментов и условиями хранения, создает ряд проблем в практике молочной промышленности, так как при этом часто снижается качество готовой продукции.

Тепловой денатурации в основном подвержены сывороточные белки. Самым нестабильным при нагревании является β -лактоглобулин. При нагревании молока до 60 °C β -лактоглобулин распадается на мономеры, которые при дальнейшем нагревании агрегируют за счет образования $-S-S-$ связей:



Тепловая денатурация β -лактоглобулина приводит к коагуляции агрегированного белка (он коагулирует почти полностью при 85–100 °C). Кроме того, β -лактоглобулин образует комплексы с к-казеином казеиновых мицелл и осаждается вместе с ними при коагуляции казеина. Этот комплекс значительно уменьшает воздействие на к-казеин сычужного фермента и снижает термоустойчивость белков молока.

Термолабильными являются также иммуноглобулины, которые денатурируют при температуре выше 70 °C. Самым термоустойчивым из сывороточных белков является α -лактальбумин. Он содержит четыре дисульфидные связи ($-S-S-$) в отличие от β -лактоглобулина, который содержит две дисульфидные связи и одну свободную сульфгидрильную группу (SH). Большая устойчивость α -лактальбумина к нагреванию обуславливается обратимостью денатурированного белка: после охлаждения наблюдается восстановление его нативной структуры за счет самопроизвольного повторного свертывания цепей. Этот процесс называют *ренатурацией*.

В процессе денатурации пептидные связи сохраняются, вследствие чего первичная структура белков не изменяется. Если пептидная связь разрывается, белок распадается. Денатурация либо предшествует распаду белка, либо непосредственно связана с ним. При производстве молочных продуктов на белок воздействуют молоко-свертывающие ферменты (сычужный фермент или пепсин), а также ферменты микробного происхождения. При распаде белков происходит гидролиз пептидных связей, в результате чего образуются вначале протеозы, пептоны, полипептиды, олигопептиды, затем аминокислоты и, наконец, вторичные продукты распада – аммиак, амины, сероводород. Разрыв пептидных связей и образование свободных аминокислот при гидролизе (расщеплении) полипептидов играет большую роль при созревании сыров, производстве кисломолочных продуктов и т. д.

Источником биологически активных пептидов, в частности, гликомакропептидов, является казеин молока. Под действием химозина они отщепляются от κ -казеина и способствуют формированию белковых густотков высокой степени дисперсности, определяющей высокую скорость гидролиза α_2 - и β -казеинов.

С.Торайгыров
атындағы ПМУ-дің
академик С.Бейсем
атындағы ғылым

КІТАПХАНАСЫ

По физиологическим свойствам к гликомакропептидам близки фосфопептиды, отщепляющиеся от α_{SI} -казеина в тонком отделе кишечника во время пищеварения, а также компоненты протеозопептонов, образующиеся из β -казеина. Данные фрагменты казеинов устойчивы к дальнейшему протеолитическому расщеплению, образуют растворимые комплексы с кальцием и способствуют абсорбции кальция и фосфора в кишечнике.

При гидролизе белков молока в желудочно-кишечном тракте могут образовываться экзоморфины или морфиноподобные (болеутоляющие) пептиды. Предполагают, что экзоморфины поступают в кровь и принимают участие в изменении общего гормонального фона организма. По мнению исследователей, β -казоморфины, являющиеся фрагментами β -казеина, в кишечнике при дальнейшем ферментативном гидролизе могут давать гексапептиды и более мелкие пептиды, обладающие свойствами иммуномодуляторов, т. е. веществ, стимулирующих развитие иммунной системы новорожденного. Они могут повышать фагоцитарную активность макрофагов и устойчивость организма к некоторым инфекциям.

В последнее десятилетие ведутся исследования еще одного белка, найденного в молоке и названного ангиогенином. Белок способствует росту кровеносных сосудов, ускоряет заживление ран, ожогов. Изучением функциональной роли ангиогенина, методов выделения его из молока и молочной сыворотки занимаются ученые кафедры технологии молока и молочных продуктов Московского государственного университета прикладной биотехнологии (МГУПБ) совместно с институтом биохимии РАН им. А.Н. Баха.

Итак, белки молока являются белками высокой биологической ценности как по составу аминокислот, так и по скорости перевариваемости в желудочно-кишечном тракте и другим важным биохимическим и физиологическим свойствам. Кроме того, пищевая ценность молочных белков повышается благодаря связям белковых молекул с липидами, витаминами и минеральными веществами.

Липиды. Такое название носят жиры и жироподобные вещества, обладающие одинаковыми физико-химическими свойствами. Молочный жир представляет собой сложный комплекс, состоящий из простых липидов (триглицериды, диглицериды, моноглицериды), фосфолипидов, веществ, сопутствующих жиру (стерины, каротин, жирорастворимые витамины, каротиноиды), а также свободных жирных кислот.

Жиры служат энергетическим материалом, выполняют функции запасных и защитных веществ; фосфолипиды являются структурными элементами мембран клеток.

Простые липиды. Содержание молочного жира в молоке колеблется от 2,8 до 5%. По химическому составу он представляет собой смесь три-, ди- и моноглицеридов. Основная доля приходится на триглицериды – 97%, которые подразделяют на тринасыщенные (44–48%), динасыщенно-мононенасыщенные (47–52%), мононасыщенно-диненасыщенные, триненасыщенные (отсутствуют). На долю ди- и моноглицеридов приходится 1,5%. В состав молочного жира входит свыше 100 жирных кислот, основные из которых представлены в табл. 1.3.

1.3. Основные жирные кислоты молочного жира

Жирные кислоты	Название	Химическая формула	Массовая доля в молочном жире, %
Насыщенные	Масляная	C_3H_7COOH	2,5–5,0
	Капроновая	$C_5H_{11}COOH$	1,3–2,2
	Каприловая	$C_7H_{13}COOH$	0,8–2,5
	Каприновая	$C_9H_{19}COOH$	1,8–3,8
	Лауриновая	$C_{11}H_{23}COOH$	2,0–5,0
	Миристиновая	$C_{13}H_{27}COOH$	7,0–11,0
	Пальмитиновая	$C_{15}H_{31}COOH$	25,0–35,0
	Стеариновая	$C_{17}H_{35}COOH$	5,5–10,5
	Арахидовая	$C_{19}H_{39}COOH$	0,4–1,2
Ненасыщенные: с одной ненасыщенной связью	Миристиленовая	$CHCOOH$	1,83–1,94
	Пальмитоленовая	$C_{15}H_{29}COOH$	3,0–3,5
	Олеиновая	$C_{17}H_{33}COOH$	25,0–45,0
с двумя ненасыщенными связями	Линолевая	$C_{17}H_{31}COOH$	2,0–3,0
с тремя ненасыщенными связями	Линоленовая	$C_{17}H_{29}COOH$	До 1,8
с четырьмя ненасыщенными связями	Арахидоновая	$C_{19}H_{31}COOH$	0,3–1,7

Зимой в молочном жире увеличивается количество тринасыщенных и динасыщенно-мононенасыщенных триглицеридов. Летом их содержание снижается и возрастает количество легкоплавких триглицеридов, содержащих ненасыщенные жирные кислоты.

Ненасыщенные жирные кислоты более реакционноспособны, чем насыщенные, из-за чего подвержены воздействию ферментов, поэтому масло, выработанное из летнего молока, имеет колющуюся консистенцию, хуже хранится, быстрее подвергается порче во время хранения, чем масло из зимних молока и сливок. Консистенция «летнего» масла из-за полноценного состава более пластична.

Триглицериды молочного жира – гетерогенные вещества. Кислоты, входящие в состав триглицеридов, значительно влияют на их свойства. В зависимости от природы компонентов различают насыщенные и ненасыщенные триглицериды.

Насыщенные жирные кислоты молочного жира определяют такие его свойства, как способность к плавлению, а следовательно, его консистенцию, вкус и запах. Температуры плавления и отвердевания служат важными физическими характеристиками молочного жира. Температурой плавления молочного жира считают температуру, при которой он переходит в жидкое состояние. Она зависит от общего числа атомов углерода в цепи жирных кислот и от четного или нечетного их содержания. Температурой отвердевания считают температуру, при которой молочный жир становится твердым.

На плавление жира влияют вид жирных кислот, распределение их в триглицеридах и полиморфные формы кристаллов жира.

Триглицериды с ненасыщенными низкомолекулярными кислотами характеризуются более высокой температурой плавления, чем триглицериды с насыщенными высокомолекулярными кислотами. Температура плавления понижается по мере увеличения содержания ненасыщенных жирных кислот в триглицеридах. Разные полиморфные формы кристаллов молочного жира имеют разную температуру плавления, так как они отличаются друг от друга расположением молекул в кристаллической решетке.

Насыщенные жирные кислоты с числом атомов углерода до 8 остаются при комнатной температуре жидкими. С увеличением относительной молекулярной массы жирных кислот повышается и температура их плавления. Жирные кислоты с нечетным числом атомов углерода обладают более низкой температурой плавления и кипения, чем жирные кислоты, у которых четное число атомов углерода.

Чрезвычайно низкая температура плавления жирных кислот с числом атомов углерода от одного до пяти объясняется наличием водородных мостиков. С увеличением длины цепи температура плавления повышается, плотность увеличивается, диссоциация становится незначительной и сила кислоты уменьшается.

В отличие от всех других жирных кислот молочного жира масляная кислота полностью растворяется в воде, а капроновая кислота – частично, поэтому их можно титровать основаниями в водном растворе. Это свойство лежит в основе метода определения числа жира – числа Рейхерта-Мейсля. Число Рейхерта-Мейсля характеризует содержание в жире растворимых в воде жирных кислот (масляной и капроновой). Молочный жир, в отличие от других жиров, име-

ет высокое число Рейхерта-Мейсля, что позволяет на практике по его величине судить о натуральности молочного жира.

Молекулярный состав молочного жира характеризует число омыления. Чем больше это число, тем больше в нем содержится низкомолекулярных жирных кислот. Число омыления определяется количеством миллиграммов едкого кали, которое необходимо для омыления 1 г молочного жира.

Физические и химические свойства молочного жира определяются в основном наличием ненасыщенных жирных кислот, которые характеризуются следующим:

- большим числом изомерных форм, способностью переходить из одной формы в другую;
- легкой окисляемостью кислородом воздуха и образованием низкомолекулярных продуктов распада;
- способностью к реакциям с галогенами, используемой для определения содержания ненасыщенных жирных кислот.

Для ненасыщенных жирных кислот характерны два вида изомерии: изомерия положения и стереоизомерия (*цис*-, *транс*-изомерия).

Изомерные соединения имеют одинаковый состав, но отличаются друг от друга структурой и, следовательно, физическими и химическими свойствами.

Изомерия положения касается расположения двойных связей в углеродной цепи. Значение изомеров положения состоит, прежде всего, в образовании различных продуктов распада при окислении. В то время как в органических соединениях с простыми связями углероды свободно вращаются вокруг оси связи, в соединениях с двойными связями этого нет, что ведет к стереоизомерии.

Транс-изомеры – это жирные кислоты со стабильной симметричной формой. При комнатной температуре *транс*-изомеры жирных кислот твердые.

Содержание *транс*-изомеров ненасыщенных жирных кислот, например вакценовой кислоты, в молочном жире незначительно. Химические и физические свойства, а также пищевая ценность жира зависят от того, какие изомеры ненасыщенных жирных кислот присутствуют в нем. Избыточное количество *транс*-изомеров ненасыщенных жирных кислот приводит к различным заболеваниям (сахарному диабету, атеросклерозу и др.).

В настоящее время при производстве мягкого масла молочный жир частично заменяют растительным, предварительно гидрогенизируя его для получения *транс*-изомеров ненасыщенных жирных кислот.

Ненасыщенные жирные кислоты способны к окислению и само-окислению. Последнее начинается с отщепления атома водорода от соседней с двойной связью метиленовой группы под воздействием света и перемещения двойных связей, что в конечном итоге приводит к образованию гидропероксидов ненасыщенных жирных кислот. Они, в свою очередь, легко подвергаются распаду, что приводит к порче молочного жира. В качестве продуктов распада обнаруживаются ненасыщенные альдегиды и эпоксиды, которые обладают очень выраженным вкусом. Однако присутствие ненасыщенных жирных кислот в молочном жире очень важно, так как они необходимы организму человека, который не в состоянии синтезировать их самостоятельно. К таким незаменимым жирным кислотам относятся линолевая и арахидоновая.

Для обнаружения ненасыщенных жирных кислот в молочном жире используют их способность реагировать с галогенами: йодом, хлором, бромом. Реакция присоединения галогенов служит для количественного определения двойных связей. Содержание в жире ненасыщенных жирных кислот выражается *йодным числом* в граммах йода, которые связываются 100 г жира.

Для жирных кислот с одинаковым числом углеродных атомов, но разным количеством двойных связей (две или три) йодное число увеличивается примерно в два или три раза, соответственно. На практике по йодному числу оценивают консистенцию масла и выбирают температурные режимы обработки сливок при производстве масла.

Количество ненасыщенных высокомолекулярных жирных кислот характеризует число рефракции: чем выше это число, тем больше в жире этих кислот. *Число рефракции* характеризует способность жира преломлять луч света, проходящий через него. По этому показателю также регулируют режимы обработки сливок при производстве масла.

Фосфолипиды. Особую роль в молочном жире играют фосфолипиды. Наиболее распространенные фосфолипиды молока — лецитин и кефалин. Это полноценные вещества с точки зрения физиологии питания. Фосфолипиды необходимы для построения костной и нервной тканей, а также мозгового вещества, поэтому они постоянно должны поступать в организм вместе с пищей. Фосфолипиды стабилизируют эмульсию жира в молоке, так как в виде фосфолипидно-белкового комплекса входят в состав оболочек жировых шариков (лецитин является хорошим эмульгатором).

В молочных продуктах фосфолипиды могут действовать либо как прооксиданты (ускорители окисления молочного жира), либо как антиоксиданты, препятствующие окислению. В сухих молочных

продуктах и масле фосфолипиды проявляют себя как антиоксиданты. При этом их защитное действие тем сильнее, чем дольше нагревание и выше температура молочного жира. Более высокие температуры повышают растворимость фосфолипидов, способствуют разрушению белкового комплекса и выделению фосфолипидов в свободном виде.

В молочных продуктах фосфолипиды действуют как катализаторы окисления молочного жира и зачастую вызывают нежелательные окислительные процессы, что приводит к их порче.

При гомогенизации и пастеризации молока часть фосфолипидов (5–15%) переходит из оболочек жировых шариков в водную фазу. При сепарировании молока 65–70% фосфолипидов переходит в сливки, при получении масла 55–70% фосфолипидов переходит в пахту.

Содержание фосфолипидов в молоке и молочных продуктах следующее (%): молоко – 0,03–0,05; сливки – 0,149–0,18; обезжиренное молоко – 0,018–0,02; масло – 0,38; пахта – 0,15–0,21.

Вещества, сопутствующие жиру. Основные вещества, объединенные этой группой, – это стерины и каротин. Стерины различаются по размеру кристаллов и температуре плавления. По этим признакам легко различить стерины животных и растительных жиров.

Стерины молока представлены в основном холестерином, выполняющим в организме жизненно важные функции: например, обезвреживающим ядовитые вещества крови – сапонины, которые способствуют растворению красных кровяных шариков. Поступающий вместе с пищей холестерин расходуется в зависимости от потребности организма. Если обмен веществ в клетках нарушается из-за неправильного питания в течение ряда лет, то холестерин может стать причиной развития атеросклероза.

Каротин – жирорастворимый пигмент молока – обуславливает окраску молочного жира и молока. Содержание каротина и, соответственно, интенсивность окрашивания зависят от состава корма, времени года, породы животных. Зимой и весной содержание каротина в молоке уменьшается из-за недостаточного его содержания в кормах. Сезонные колебания цвета сливочного масла также связаны с изменением содержания каротина в кормах животных. При хранении молока и масла на свету содержание его снижается.

Углеводы. К этой широко распространенной в природе группе относят вещества, выполняющие главным образом энергетическую функцию. Кроме того, они принимают участие в построении сложных органических соединений (например, гликопротеидов), выполняющих важную физиологическую роль.

По строению и свойствам углеводы делят на три основные группы – моносахариды, олигосахариды и полисахариды.

Основным углеводом молока является лактоза, которая относится к олигосахаридам, точнее — это дисахарид, построенный из остатков D-глюкозы и D-галактозы. Содержание ее в молоке составляет 4,5–5,0%. Кроме нее в молоке обнаружено незначительное количество других углеводов (глюкоза — 0,15%, галактоза — 0,15, моносахариды — 0,30%).

Лактоза находится в молоке в виде истинного раствора и представлена двумя формами — α и β . Они различаются пространственным расположением гидроксильной группы у первого углеродного атома молекулы глюкозы. α -Лактоза менее растворима, чем β -лактоза. Обе формы могут переходить одна в другую, скорость перехода зависит от температуры. Чистых водных растворов этих форм не существует. В водном растворе часть α -лактозы переходит в β -лактозу, а при растворении β -лактозы часть ее переходит в α -лактозу. При 20 °С в условиях динамического равновесия содержится 37,7% α -лактозы и 62,25% β -лактозы.

β -Лактоза выкристаллизовывается из пересыщенных растворов лактозы при температурах ниже 93,5 °С с одной молекулой гидратной воды. Именно в α -гидратной форме ее получают из молочной сыворотки при производстве молочного сахара, который находит все большее применение в фармацевтической и пищевой отраслях, в том числе при производстве детских молочных продуктов, чаще всего в смеси с лактулозой (лакто-лактuloза). Кристаллизация лактозы играет основополагающую роль при производстве сгущенных молочных продуктов.

β -Лактоза образуется в твердом состоянии из растворов лактозы при температурах выше 93,5 °С. На этом свойстве основаны способы получения этой формы лактозы. В тех сухих молочных продуктах, из которых удаляют влагу при температурах выше 93,5 °С (распылительная сушка), всегда содержится β -лактоза.

Лактоза обуславливает пищевую ценность молока и имеет большое значение в формировании свойств молока и качества молочных продуктов. Она служит исходным веществом для обеспечения жизнедеятельности молочнокислых бактерий и тем самым участвует в процессе брожения, следствием которого является низкая стойкость натурального молока при хранении. Вместе с тем этот процесс имеет важное технологическое значение при производстве кисломолочных продуктов и сыров. Лактоза влияет на свойства молочных консервов в процессе хранения, обуславливает изменение цвета и вкуса молочных продуктов при стерилизации (нагревание молока выше 100 °С приводит к его легкому побурению). Это вызвано реакцией карамелизации (реакция Майара) между лактозой и

белками с образованием меланоидинов – веществ темного цвета. Кроме того, при нагревании водных растворов лактозы до температуры около 100 °С лактоза частично превращается в лактулозу, которая отличается от молочного сахара тем, что вместо остатка глюкозы содержит остаток фруктозы. Лактулоза хорошо растворяется в воде и имеет более сладкий вкус, по сравнению с лактозой. Молочные продукты, обогащенные лактулозой, способствуют активизации жизнедеятельности бифидобактерий и подавлению вредных бактерий в кишечнике человека, стимулированию абсорбции минеральных веществ и укреплению костей, ингибируют образование вторичных желчных кислот, проявляют антиканцерогенный эффект.

Особенно важным свойством лактозы для молочной промышленности является ее способность к гидролизу под действием органических кислот и ферментов. Ферментативный гидролиз под действием фермента лактазы играет большую роль при производстве кисломолочных продуктов и сыров. Ферментативный гидролиз создает предпосылки для брожения лактозы, так как сама лактоза непосредственно не подвергается сбраживанию а распадается на глюкозу и галактозу, с которыми затем и происходит ряд ферментативных реакций. В зависимости от образующихся конечных продуктов распада различают различные виды брожения, наиболее важные из которых – молочнокислое, спиртовое, маслянокислое, пропионовокислое и уксуснокислое. Два последних вида брожения – это побочные виды, необходимым промежуточным продуктом для них служит молочная кислота. Маслянокислое брожение – нежелательный вид брожения; оно является причиной позднего вспучивания сыров и появления неприятных вкуса и запаха кисломолочных продуктов.

Минеральные вещества. Массовая доля минеральных веществ в молоке составляет 0,7–0,8% массы сухих веществ. Они представляют собой катионы металлов и анионы неорганических и органических веществ. В зависимости от концентрации в молоке минеральные вещества делят на макроэлементы и микроэлементы. К основным макроэлементам можно отнести кальций, фосфор, калий, натрий, магний, хлор, а также фосфаты, хлориды, цитраты, сульфаты и карбонаты. В молоке преобладают фосфаты, цитраты и хлориды кальция, калия, натрия и магния. Они обуславливают пищевую ценность молока и стабилизируют коллоидное состояние белковых частиц. Ионы кальция входят в состав казеинаткальцийфосфатного комплекса молока. Адсорбируясь на поверхности, они укрепляют гидратную оболочку и тем самым повышают устойчивость казеина.

Макроэлементы находятся в молоке в виде истинных и коллоидных растворов. Электронейтральность раствора обеспечивается тем, что сумма зарядов катионов равняется сумме зарядов анионов. Солевое равновесие молока обусловлено распределением составных частей его солей между истинно растворимыми, коллоидно растворимыми и связанными с белками формами. Солевое равновесие молока – это определенное соотношение между катионами кальция и магния и анионами фосфатов и цитратов. Связанные между собой диссоциационные равновесия оказывают буферное действие по отношению к ионам кальция и магния. Изменение их концентрации под влиянием какого-либо фактора сразу же влечет за собой смещение других равновесий до тех пор, пока не будет достигнуто первоначальное соотношение концентраций этих ионов. Равновесие солевой системы молока в процессе его переработки может нарушаться из-за изменений температуры, pH молока и концентрации тех или иных ионов. Самопроизвольное нарушение солевого равновесия молока под действием различных факторов вследствие нарушения технологического процесса может вызвать нежелательные реакции в молоке на различных стадиях его переработки (например, коагуляция белков при стерилизации молока). Направленное нарушение солевого равновесия молока применяют при выработке творога, сыров и некоторых других молочных продуктов.

Медь, железо, цинк, кобальт, марганец, йод, свинец и некоторые другие микроэлементы молока связаны с белками и оболочками жировых шариков. Микроэлементы характеризуют пищевую ценность молока, входят в состав многих ферментов, являются необходимыми для развития микроорганизмов, вносимых в молоко в составе заквасок при производстве кисломолочных продуктов. Однако содержание микроэлементов выше нормы может отрицательно сказаться на качестве молока. Некоторые микроэлементы могут быть катализаторами химических реакций, что может привести к образованию пороков качества сырья и готовых продуктов.

Витамины представляют собой органические соединения, необходимые для нормальной жизнедеятельности живого организма, в том числе и человека. В молоке содержатся все жизненно необходимые витамины, хотя и в небольших количествах.

Различают жирорастворимые и водорастворимые витамины. Первые преобладают в молочном жире (в сливках, масле, пахте), вторые – в обезжиренном молоке и молочной сыворотке. К жирорастворимым витаминам относятся ретинол (витамин А), кальциферол (витамин D), токоферол (витамин Е), филлохинон (витамин К).

К водорастворимым витаминам относятся тиамин (витамин В₁), рибофлавин (витамин В₂), пиридоксин (витамин В₆), пантотеновая кислота (витамин В₃), цианкобаламин (витамин В₁₂), ниацин (витамин РР), аскорбиновая кислота (витамин С), биотин (витамин Н).

Между жиро- и водорастворимыми витаминами существуют функциональные различия. Жирорастворимые витамины проявляют специфические действия при образовании тканей и клеточных группировок. Водорастворимые витамины группы В входят в состав многих ферментов. Большинство витаминов очень чувствительны к внешним воздействиям – высоким температурам, УФ излучению, действию кислот, оснований, кислорода воздуха. При производстве молочных продуктов эти особенности нужно учитывать, выбирая щадящие режимы ведения технологических процессов, чтобы избежать разрушения витаминов.

Часть витаминов образуется в организме из провитаминов. Последние имеют такое же важное значение для жизнедеятельности человека, как и витамины. Провитамины – это органические соединения, которые в результате ферментативных реакций или энергетических воздействий превращаются в витамины. Например, витамин А образуется из провитамина β-каротина.

Витамины молока играют важную роль в физиологии питания. Одни из них влияют на окислительно-восстановительный потенциал молока и поэтому могут действовать в качестве антиоксидантов, другие проявляют себя как пигменты. Кроме того, некоторые витамины являются стимуляторами роста микроорганизмов, что имеет важное значение при производстве кисломолочных продуктов.

В молоке содержится недостаточное количество витаминов, снижающееся к тому же при переработке его в молочные продукты. Для повышения пищевой и биологической ценности молока и молочных продуктов была предложена их витаминизация. В частности, кисломолочные продукты обогащают за счет использования определенных штаммов микроорганизмов, в результате жизнедеятельности которых образуются некоторые витамины – например, витамин С и витамины группы В. Кроме того, витаминизацию можно применять в технологических целях, например β-каротин и рибофлавин используют в качестве красителей, токоферол и аскорбиновую кислоту – как антиоксиданты.

Ферменты представляют собой специфические вещества, катализирующие биохимические реакции. Под действием ферментов молекулы белков, жиров и углеводов расщепляются до простых веществ, выделяя энергию, необходимую для поддержания жизнедеятельности живого организма.

В молоке от здоровых животных, получающих хороший рацион, содержится более 20 ферментов. Большая часть ферментов образуется в клетках молочной железы животного и попадает в молоко во время секретиции, другая часть, вероятно, попадает в молоко из крови животного (нативные ферменты). Микроорганизмы молока в процессе своей жизнедеятельности также выделяют много ферментов (микробные ферменты), их насчитывают более 50.

В технологии ферменты играют важную роль. На действии ферментов основано производство сыра и кисломолочных продуктов. Они могут приводить также к нежелательным изменениям составных частей молока и молочных продуктов при хранении, вызывая пороки качества. Наибольшее практическое значение имеют ферменты, катализирующие окислительно-восстановительные процессы (оксидоредуктазы), и ферменты, катализирующие расщепление составных частей молока: белков, жиров и углеводов (гидролитические ферменты).

К оксидоредуктазам относят дегидрогеназы, оксидазы, пероксидазу и каталазу. Дегидрогеназы и оксидазы ускоряют реакции окисления веществ путем отщепления от них водорода. Пероксидаза и каталаза окисляют различные органические соединения с помощью пероксида водорода.

Нативные дегидрогеназы (редуктазы) находятся в молоке в незначительном количестве. В основном они накапливаются при размножении микроорганизмов. По способности продуцировать редуктазы бактерии располагаются в таком порядке (по степени убывания): пептонизирующие белки, маслянокислые, гнилостные, кокки, молочнокислые, бактерии группы кишечной палочки. Активность редуктаз можно определить по продолжительности восстановления добавленного к молоку индикатора метиленового синего (редуктазная проба). С увеличением числа бактерий в молоке возрастает его восстанавливающая способность. На этом свойстве основано определение общего количества бактерий в молоке по редуктазной пробе. Дегидрогеназы, вырабатываемые молочнокислыми бактериями и дрожжами, играют большую роль при молочнокислом и спиртовом брожении в технологии кисломолочных продуктов.

К оксидам относят главным образом нативную ксантиноксидазу. Она окисляет различные альдегиды и пуриновые основания до соответствующих кислот. К оксидазам относят также малоизученную аскорбатоксидазу, катализирующую окисление аскорбиновой кислоты, и некоторые другие ферменты.

Пероксидаза содержится в молоке в значительных количествах, попадает в него из клеток молочной железы и бактериями не выделяется. Она окисляет с помощью пероксида водорода различные по-

лифенолы и ароматические амины. Температура инаktivирования пероксидазы – около 80 °С без выдержки, поэтому по ее присутствию можно определять эффективность пастеризации молока (пробы на пероксидазу). Технологического значения пероксидаза не имеет.

Каталаза – фермент, способствующий разложению пероксида водорода. В молоке находятся нативная и микробная каталазы. Повышенное количество каталазы может указывать на наличие в цельном молоке примеси молозива или мажистного молока. Активность каталазы определяют для контроля молока, полученного от больных животных.

К гидролитическим ферментам, или гидролазам, относят ферменты, катализирующие процессы гидролитического расщепления. Они разрывают внутримолекулярные связи, за исключением углеродных, присоединяя молекулы воды. К гидролитическим ферментам относят протеазы (протеолитические ферменты), липазы, лактазы, фосфатазы, амилазы.

Протеазы катализируют расщепление белков и продуктов их распада до аминокислот, разрывая пептидные связи. В молоке содержится небольшое количество нативной протеазы. Предполагается, что желирование стерилизованного молока происходит в результате инаktivации протеазы при ультравысокотемпературной обработке молока. Нативная протеаза вызывает гидролиз β -казеина с образованием γ -казеинов. Протеазы, выделяемые микрофлорой молока, участвуют в процессах созревания сыров, вызывают пороки вкуса в молоке и масле, способствуют росту микроорганизмов, так как при расщеплении белков образуются необходимые для развития микроорганизмов аминокислоты. Под действием протеаз образуются пептоны и протеозы, а также полипептиды и аминокислоты, способствующие развитию аромата в сыре. Если ферментативный гидролиз белка останавливается на стадии образования пептонов, или слишком много пептонов появляется на стадии созревания, то это придает сыру горький привкус.

Активность протеолитических ферментов, выделяемых разными микроорганизмами, неодинакова. Например, молочнокислые палочки выделяют более активные протеазы, чем стрептококки. При производстве сыров и некоторых кисломолочных продуктов для свертывания белков молока применяют протеолитические ферменты животного (сычужный фермент), растительного (пепсин) и микробного происхождения.

Липазы катализируют гидролиз эфирных связей триглицеридов молочного жира с отщеплением свободных жирных кислот, ди- и моноглицеридов. Липазы имеют большое значение в молочной промышленности, так как могут быть причиной ярко выраженных пороков вкуса и запаха в молоке и молочных продуктах. Даже следы

свободных низкомолекулярных жирных кислот придают молоку и маслу очень неприятный прогорклый вкус.

В молоке присутствуют нативная и бактериальная липазы. Первая находится в молоке в двух видах: мембранная, связанная с оболочками жировых шариков, и плазменная, связанная с казеином. В свежем молоке липаза обычно не активна. Она может активизироваться в процессе хранения молока и молочных продуктов, в результате механического воздействия на молоко (встряхивания, перекачивания насосами и т. д.), замораживания молока или быстрой смены температур в процессе обработки или хранения. Высокой активностью обладают липазы микробного происхождения, выделяемые психротрофными бактериями и плесневыми грибами. Они могут вызывать прогорклый вкус молока, масла и других молочных продуктов. В некоторых сырах, созревающих при участии плесени или слизи, бактериальная липаза обуславливает образование специфических вкуса и аромата. Действие липазы оптимально при температуре 37 °С. Нативная липаза инактивируется при температурах около 80 °С, бактериальная липаза – при температурах около 90 °С.

Лактаза катализирует гидролиз лактозы с образованием глюкозы и галактозы, которые, в свою очередь, распадаются впоследствии на более простые соединения: кислоты, спирт, углекислый газ и др. Этот процесс является основополагающим при производстве кисломолочных продуктов и сыров. В молоке находится лактаза микробного происхождения. Действие лактазы оптимально при температуре 40 °С.

Фосфатазы катализируют гидролиз сложных эфиров фосфорной кислоты, образующихся в организме при обмене веществ. Они попадают в молоко из клеток молочной железы и разделяются по своему действию на щелочную (при pH около 9,0) и кислую (при pH около 4,5) фосфатазы. Щелочная фосфатаза адсорбируется на поверхности жировых шариков, кислая фосфатаза связана сальбуминовой фракцией молока. Температуры, вызывающие тепловую денатурацию щелочной фосфатазы, сопоставимы с температурами, вызывающими денатурацию белков клеток патогенной микрофлоры молока при пастеризации (63 °С в течение 30 мин, 72 °С в течение 15 с и 80 °С без выдержки). Отсутствие щелочной фосфатазы в пастеризованном молоке служит доказательством эффективности данных режимов. Фосфатазы способны к реактивации и могут быть обнаружены в молоке через некоторое время после пастеризации.

Амилаза катализирует гидролиз полисахаридов до декстринов и мальтозы. Она попадает в молоко из клеток молочной железы. Дей-

ствие амилазы оптимально при pH 7,4 и температуре 37 °С. Режимы пастеризации молока приводят к инаktivации амилазы.

Лизоцим – очень важный фермент, обнаруженный в молоке, катализирует разрушение полисахаридов клеточных стенок бактерий. Это приводит к гибели последних: таким образом лизоцим обеспечивает бактерицидные свойства свежесвыянного молока.

Гормоны. Кроме вышеназванных составных частей в молоке содержатся гормоны – химические стимуляторы, регулирующие обмен веществ в организме. Содержание их в молоке невелико. К наиболее значимым относят пролактин (стимулирует развитие молочных желез, образование молока), окситоцин (стимулирует отделение молока), тиротоксин (йодсодержащий гормон щитовидной железы).

Газы. Находясь в молоке в растворимом состоянии, газы попадают в молоко при соприкосновении его с воздухом в процессе получения и обработки. Их количество в 1 л молока составляет около 80 мг. В том числе углекислого газа 40–56 мг, азота – 16–24, кислорода – 4–8 мг. В процессе хранения молока в результате развития микрофлоры количество кислорода в нем понижается.

Посторонние вещества, содержащиеся в молочном сырье. Посторонними являются вещества, отрицательно влияющие на биологическую ценность и технологические свойства молока. Посторонние вещества можно подразделить на химические, радиоактивные, биологические и механические.

Химические вещества попадают в молоко разными путями. К ним относят антибиотики, бактериальные яды, пестициды, тяжелые металлы, нитраты, мочющие и дезинфицирующие средства, мочевины.

Антибиотики в молоке отрицательно влияют на здоровье человека, вызывая в некоторых случаях аллергические реакции. Они попадают в молоко вследствие лечения мастита и других заболеваний. В течение 2–5 сут. после окончания лечения молоко нельзя использовать в пищу и для производства молочных продуктов. Антибиотики могут вносить в молоко производители (фальсификация антибиотиками) для предотвращения его преждевременного скисания. Наличие антибиотиков в молоке приводит к несквашиванию молока при производстве кисломолочных продуктов и сыров, так как они подавляют действие микроорганизмов заквасочных культур. Вместе с тем в молоке в небольших количествах содержатся природные антибиотические вещества, а также вещества, выделяемые различными молочнокислыми микроорганизмами, которые угнетают действие на вредные микроорганизмы в молочных продуктах.

Чтобы исключить вредное воздействие антибиотиков при производстве молочных продуктов, а также заквасок, подбирают устой-

чивые к воздействию различных антибиотиков штаммы молочнокислых микроорганизмов. На молочных предприятиях молочное сырье обязательно контролируют на наличие антибиотиков.

В молоко иногда могут попадать различные токсины растительного и микробного происхождения, способные вызвать пищевые отравления. Токсины растительного происхождения могут попасть в молоко при скормливание животным ядовитых растений. Основными веществами, обуславливающими токсичность растений, являются алкалоиды (колхицин в безвременнике осеннем), гликозиды (соеанины в проросшем картофеле), эфирные масла (полынь, горчица), госсипол (хлопчатниковые жмыхи) и др. Наиболее известен афлатоксин, который существует в четырех видах: B1, B2, G1, G2. Афлатоксины могут вызвать цирротические изменения печени человека. При поедании коровой кормов, зараженных афлатоксинами, в молоко может выделяться до 3% потребленных афлатоксинов в виде гидроксилированных метаболитов — афлатоксинов M1 и M2. Афлатоксины термостойки, пастеризация не снижает их токсичность. Поэтому в молочном сырье, предназначенном для производства молочных продуктов, не допускается наличие афлатоксинов.

Токсины микробного происхождения, например, энтеротоксины, попадающие в молоко, вырабатываются коагулазоположительными стафилококками. Последние могут попасть в молоко при забое животного маститом, а также при недостаточном соблюдении санитарных норм персоналом, имеющим гнойные заболевания. Энтеротоксины термостойки, не разрушаются при пастеризации и могут вызвать серьезные пищевые отравления человека.

Для предотвращения попадания в молоко и молочные продукты афлатоксинов, энтеротоксинов и других видов токсинов необходимо исключать из использования недоброкачественные корма и строго соблюдать санитарно-гигиенические нормы производства молока и молочных продуктов.

Пестициды — это яды химического и биологического происхождения, используемые в сельском хозяйстве для защиты культурных растений от сорняков (гербициды), насекомых (инсектициды), болезней (фунгициды). Остатки этих ядовитых веществ попадают в молоко после поедания животными кормов, их содержащих. Они представляют опасность для здоровья человека, поэтому в нашей стране установлен максимально допустимый уровень их содержания в пищевых продуктах. В молоке и молочных продуктах остаточные количества пестицидов не допускаются. Исключение составляют: гексахлоран (МДУ не более 0,05 мг/кг), ГХЦГ гамма-изомер (МДУ не более 0,05 мг/кг) и ДДТ (МДУ не более 0,05 мг/кг). Кроме того,

запрещено использовать в сельском хозяйстве такие стойкие хлорорганические пестициды, как ДДТ и альдрин.

Моющие и дезинфицирующие средства в виде остатков могут попадать в молоко в результате плохого ополаскивания оборудования после мойки и дезинфекции. Эти вещества снижают способность молока к сычужному свертыванию и ингибирующе действуют на микрофлору заквасок. Наибольшую опасность для человека, использующего в пищу молоко и молочные продукты, в которых имеются остатки моющих и дезинфицирующих средств, представляют препараты, содержащие активный хлор и четырехзамещенные соединения аммония.

Особую группу токсических веществ, представляющих опасность для здоровья человека, составляют тяжелые металлы. Источниками их поступления в молоко могут быть окружающая среда, корма, вода для питья животных или используемая для восстановления сухих молочных продуктов, техногенные факторы, катастрофы и т. п. К опасным токсичным элементам, в соответствии с медико-биологическими требованиями и санитарными нормами качества продовольственного сырья и пищевых продуктов, относятся свинец, кадмий, мышьяк, ртуть, олово. Для этих элементов Федеральный закон №88-ФЗ – Технический регламент на молоко и молочную продукцию – устанавливает максимально допустимые уровни их содержания в молоке и молочных продуктах (табл. 1.8).

Радиоактивные вещества. Радиоактивные загрязнения представляют наиболее опасные элементы, попадающие в молоко и молочные продукты. Наибольший вред человеку могут нанести радионуклиды с длительным периодом полураспада: стронций-90 и цезий-137. Допустимые уровни загрязненности молочных продуктов данными радионуклидами составляют, соответственно, 25 и 100 Бк/л (табл. 1.9). Молоко, загрязненное радионуклидами выше указанных норм, перед употреблением в пищу или технологической переработкой необходимо очищать с помощью ионообменных смол. Из радиоактивно загрязненного молока можно вырабатывать сливочное и топленое масло, в которое переходит менее 1% радионуклидов от общего их количества в молоке.

Биологические вещества – чаще всего это бактерии, плесени и дрожжи. В молоко микроорганизмы попадают из сосковых каналов вымени животного. Такое молоко, если животное здорово, условно называют асептическим. На практике получить асептическое молоко невозможно. Обычно в нем содержится 100–3000 микроорганизмов в 1 мл. Кроме того, микроорганизмы могут попасть в молоко из окружающей среды, с рук обслуживающего персонала, посуды, кожи

животного, подстилки, корма и т. д., на любом этапе технологического процесса при несоблюдении санитарно-гигиенических норм производства, при транспортировании и хранении молока. От количества микроорганизмов в молоке зависят его органолептические, физические и химические свойства.

Условно микроорганизмы, встречающиеся в молоке и молочных продуктах, можно разделить на три группы: патогенные, вызывающие пороки молока, молочнокислые бактерии.

Микрофлора молока, вызывающая инфекционные заболевания, называется патогенной микрофлорой. Источником ее в молоке являются больные или переболевшие люди или животные, выделяющие болезнетворные микробы в окружающую среду. К патогенной микрофлоре относят возбудители пищевых отравлений, возбудители кишечных инфекционных болезней человека, возбудители зооантропозов, возбудители мастита. Возбудителями пищевых отравлений являются сальмонеллы, палочки рода эшерихия (*Escherichia*), бактерии рода протеус (*Proteus*), *Cl. perfringens*, *Bacillus cereus*, патогенные стафилококки и стрептококки, возбудитель ботулизма, токсикогенные грибы (микотоксины) и некоторые другие микроорганизмы.

Чаще всего пищевые отравления микробного происхождения вызываются сальмонеллами. Они не образуют спор, но обладают высокой устойчивостью к воздействиям внешней среды. В молочных продуктах эти микроорганизмы длительно сохраняются (до 34 мес. в твороге) и размножаются. Режимы пастеризации молока инактивируют сальмонеллы; оно считается безопасным в отношении содержания сальмонелл, если их первоначальное количество не превышало $3 \cdot 10^{-12}$ клеток в 1 см³ молока. Кроме пищевых отравлений, сальмонеллы вызывают брюшной тиф, паратифы и септицемию. Технический регламент на молоко и молочную продукцию предусматривает контроль сырого молока на наличие патогенных микроорганизмов, в том числе сальмонелл. Они не допускаются в 25 см³ сырого молока высшего, первого и второго сортов.

Патогенные стафилококки и стрептококки вызывают гнойно-воспалительные процессы и пищевые токсикозы, хотя последние стрептококковой этиологии встречаются редко. Наиболее опасным считается золотистый стафилококк. Стафилококки – факультативные анаэробы, развивающиеся при температурах от 10 до 43 °С (оптимум 35 °С). Патогенные стафилококки и стрептококки разрушаются при кипячении немедленно, поэтому можно считать, что режимы пастеризации молока обезвреживают эти микроорганизмы. Тем не менее, такое молоко может при употреблении вызвать пищевые отравления из-

за содержания токсинов так как продуктами жизнедеятельности патогенных стафилококков и стрептококков являются экзо- и эндотоксины.

Патогенные стафилококки продуцируют пять типов экзотоксинов: летальный, вызывающий гибель животных; гемолитический, лизирующий эритроциты; лейкоцидин, разрушающий лейкоциты; некротический, вызывающий омертвление тканей; энтеротоксин, обуславливающий возникновение пищевых токсикозов. Токсины разрушаются лишь при длительном кипячении в течение 30 мин, поэтому могут находиться в пастеризованном молоке.

Пищевые отравления могут быть вызваны кишечными палочками рода эшерихия (*Escherichia*). Они являются постоянными обитателями кишечника человека и животных и при определенных условиях приобретают патогенные свойства. Кишечные палочки, вызывающие пищевые отравления, обнаруживаются в молоке и молочных продуктах, поэтому во время технологического процесса сырье и готовый продукт контролируют на наличие бактерий группы кишечной палочки. Режимы пастеризации молока инактивируют БГКП, однако эндотоксин, который они выделяют, является термостабильным, выдерживающим нагревание до 90–100 °С. БГКП относят к санитарно-показательным микроорганизмам, по наличию которых в пищевых продуктах судят о возможном присутствии патогенных и токсичных видов микробов.

Клостридии перфрингенс (*Cl. perfringens*) также вызывают серьезные пищевые отравления. Они представляют собой спорообразующие палочки, являются анаэробами, но могут развиваться в присутствии небольшого количества кислорода. Споры более устойчивы к температурному воздействию и инактивируются при кипячении в течение 15–30 мин. Клостридии перфрингенс вырабатывают термолабильный энтеротоксин, который инактивируется при температуре 60 °С за 4 мин на 90%.

К числу самых тяжелых заболеваний относятся пищевые отравления, вызванные возбудителями ботулизма. Последние относятся к роду клостридий, представляющих собой спорообразующие палочки и имеющих 7 подвидов, различающихся по антигенной структуре, образуемым токсинам и другим признакам. Они являются анаэробами и размножаются в герметически закрытых банках или глубинных участках твердых пищевых продуктов. Металлические банки с зараженными молочными консервами вздуваются (бомбаж), но зачастую молочные продукты с ботулиническими токсинами внешне ничем не отличаются от доброкачественных. Возбудитель ботулизма образует два основных вида токсинов: нейротоксин и гемолизин. Эти токсины

полностью инактивируются при нагревании до температуры 80 °С в течение 30 мин. Однако споры возбудителя ботулизма выдерживают кипячение в течение 5–6 ч и очень устойчивы к воздействиям внешней среды. Поэтому в молочно-консервном производстве необходимо строго соблюдать режимы стерилизации, поддерживать санитарно-гигиенические условия на высоком уровне, не допуская попадания этих микроорганизмов в молоко.

Кроме патогенной микрофлоры в молоке и молочных продуктах содержатся микроорганизмы, вызывающие появление пороков. К этим микроорганизмам относятся гнилостные бактерии, маслянокислые бактерии, энтерококки, термоустойчивые молочнокислые палочки и бактериофаги. Гнилостные бактерии являются основными возбудителями пороков в молоке и молочных продуктах. Они представлены спорообразующими аэробными и анаэробными палочками, пигментообразующими бактериями и факультативно-анаэробными бесспорными бактериями. К спорообразующим гнилостным аэробам относятся *Bac. subtilis* (сенная палочка), *Bac. mesentericus* (картофельная палочка), *Bac. megaterium* (капустная палочка), *Bac. mycoides* (грибовидная палочка), *Bac. cereus* и др. К спорообразующим гнилостным анаэробам относятся бактерии рода *Clostridium*. К бесспорным пигментообразующим гнилостным микроорганизмам относятся флюоресцирующая, синегнойная палочка семейства *Pseudomonadaceae* и чудесная палочка семейства *Enterobacteriaceae*. Факультативно-анаэробные бактерии представлены *Proteus vulgaris* (палочка протей) и *Escherichia coli* (кишечная палочка).

Гнилостные бактерии чаще всего являются мезофильными или психрофильными бактериями. Гнилостные микроорганизмы обладают протеолитическими свойствами: разжижают желатин, свертывают и пептонизируют молоко, выделяют аммиак, сероводород; анаэробы и бесспорные палочки образуют, кроме того, индол (т. е. продукты глубокого распада белков молока). Спорообразующие палочки, в отличие от бесспорных, обладают свойством ферментировать многие углеводы. Некоторые гнилостные микроорганизмы (плесени, флюоресцирующая палочка и другие бактерии рода *Pseudomonas*) обладают липолитическими свойствами, так как образуют фермент липазу, вызывающий распад жиров.

Маслянокислые бактерии – анаэробные спорообразующие микроорганизмы, которые относятся к роду клостридий. Они развиваются в диапазоне температур от 8 до 46 °С (оптимальная 35 °С). В результате их жизнедеятельности происходит маслянокислое брожение лактозы до образования масляной, а также в небольших количествах уксусной,

муравьиной и пропионовой кислот. Кроме того, выделяется много углекислого газа и водорода. Маслянокислые бактерии плохо развиваются в молоке, но при созревании сыров создаются благоприятные условия для их развития, что приводит к позднему вспучиванию сыров. Это проявляется «рваной» текстурой сыра, прогорклым и сладковатым вкусом. В связи с этим молоко, предназначенное для производства сыров, проверяют на наличие маслянокислых бактерий.

Гнилостные процессы в молоке и молочных продуктах могут вызывать энтерококки. Они термостойки (выдерживают нагревание до 60 °С в течение 30 мин), поэтому составляют значительную часть остаточной микрофлоры пастеризованного молока. Маммококки, например, выделяют фермент, сходный по действию с сычужным, что приводит к прогорканию молока и его преждевременному свертыванию.

Пороки молока и молочных продуктов могут вызываться термоустойчивыми молочнокислыми палочками. В результате их жизнедеятельности происходит интенсивное кислотообразование, что вызывает в кисломолочных продуктах (творог, сметана, обыкновенная простокваша), при производстве которых используется мезофильная микрофлора, порок «излишне кислый вкус». Оптимальная температура развития термоустойчивых молочнокислых палочек составляет 45–55 °С, они выдерживают кратковременное нагревание до 85–90 °С.

На качество молочных продуктов, при производстве которых используются чистые культуры микроорганизмов (кисломолочные продукты, сыры, кислосливочное масло), влияют бактериофаги, вызывающие лизис бактерий. Особенно подвержены их воздействию мезофильные молочнокислые стрептококки. При наличии фагов молочнокислое брожение замедляется, либо прекращается совсем. Бактериофаги развиваются при 8–46 °С, выдерживают нагревание при температуре 75 °С в течение 15 с, хорошо переносят замораживание и длительное хранение при низких температурах.

Для того, чтобы избежать попадания бактериофагов, закваски получают в асептических условиях, часто сменяют штаммы бактерий в заквасках, используют питательные среды, тормозящие действие бактериофагов, поддерживают на высоком уровне санитарно-гигиенические условия производства не только заквасок, но и всего технологического процесса.

Молчнокислые бактерии представлены в молоке в виде стрептококков и лактобактерий, не образующих спор. Молчнокислые стрептококки — это факультативные анаэробы, в большинстве своем не выдерживающие нагревания до 70 °С. Диапазон температур для их развития — от 10 до 40 °С (оптимальная 30 °С). Исключением яв-

ляется термофильный стрептококк, развивающийся в широком диапазоне температур – от 20 до 50 °С (оптимальная 37–40 °С). Он обладает более высокой термоустойчивостью и выдерживает нагревание при 75 °С в течение 15 мин.

Молочнокислые палочки (лактобактерии) также являются факультативными анаэробами. Развиваются лактобактерии при 20–55 °С. Термоустойчивые молочнокислые палочки выдерживают высокие температуры и могут быть обнаружены в пастеризованном молоке. Они образуют лактозу до молочной кислоты, причем их содержание в молоке в большом количестве может привести к преждевременному свертыванию молока, как сырого, так и во время тепловой обработки.

К биологическим посторонним веществам молока относят также соматические клетки, на 90% состоящие из лейкоцитов. Соматические клетки являются потенциальным источником таких ферментов, как каталаза, пероксидаза, липаза и протейназа, которые могут вызвать гидролиз и окисление компонентов молока при первичной обработке и хранении. Повышение содержания соматических клеток в сыром молоке более $5 \cdot 10^5$ в 1 см³ указывает на заболевание животного.

Механические вещества. К посторонним веществам, попадающим в молоко из окружающей среды, относят так называемые механические примеси: пыль, навоз, грязь, частицы белка, особенно в молоке с повышенной кислотностью и т. д. В основном молоко загрязняется питьевыми частицами и комбикормами. А самыми крупными частицами механических примесей в молоке, по данным А.Г. Атраментова, являлись частицы силоса, сгустки молока и шерстинки животных (табл. 1.4).

1.4. Содержание и размеры частиц примесей в молоке

Примеси	Содержание, %	Размеры частиц
Комбикорма	46±4,5	130×160 мкм
Пылевидные частицы	47±4,4	100×150 мкм
Силос	5±1,4	10×0,1 мм
Шерсть животного	1±0,6	1000×5000 мкм
Сгустки белка молока	1±0,5	500×1000 мкм

Плотность механических частиц, по разным данным, составляет от 1330 до 1920 кг/м³. Присутствие их в молоке нежелательно, так как молоко дополнительно обсеменяется микроорганизмами, что приводит к его порче и невозможности переработки в молочные продукты. Загрязнение молока связано с нарушением санитарных условий получения и обработки молока на ферме.

1.2.2. Свойства молочного сырья

Свойства молока характеризуются определенными физико-химическими, органолептическими и технологическими показателями. Они могут меняться под влиянием различных факторов (стадии лактации, болезни животных, условий содержания и кормления и т. д.), а также при фальсификации молока. Поэтому их определение позволяет оценить натуральность, качество молока и пригодность его к переработке в различные молочные продукты.

Физико-химические свойства молока обуславливаются составом и свойствами компонентов, содержащихся в нем, а также следующими показателями: кислотностью, плотностью, вязкостью, окислительно-восстановительным потенциалом и др. На плотность, кислотность и окислительно-восстановительный потенциал влияют концентрация и степень дисперсности частиц. Составные части молока, присутствующие в эмульгированном и коллоидном состояниях, определяют вязкость и поверхностное натяжение, а находящиеся в виде молекулярной и ионной дисперсии – обуславливают осмотическое давление, температуру замерзания и электропроводность. Изменения физико-химических показателей молока и причины этих изменений приведены ниже.

Изменение показателя	Возможная причина изменения
Уменьшение плотности	Разбавление молока (уменьшение содержания сухих веществ)
Понижение pH	Микробиологическое загрязнение молока (увеличение количества молочнокислых микроорганизмов)
Понижение окислительно-восстановительного потенциала	Микробиологическое загрязнение молока (активизация восстановительно действующих микроорганизмов)
Повышение электропроводности	Нарушение секреции вымени (повышенное содержание хлоридов)
Незначительное повышение температуры замерзания	Разбавление молока водой (пониженное содержание истинно растворимых составных частей)

Кислотность молока обуславливается главным образом наличием в нем кислых солей и белков и характеризуется титруемой и активной кислотностью.

Титруемую кислотность выражают в градусах Тернера. Под градусами Тернера понимают количество миллилитров 0,1 н раство-

ра щелочи, которое расходуется на нейтрализацию 100 мл молока. Титруемая кислотность свежесвыдоенного молока в среднем составляет 16–18 °Т.

Титруемая кислотность молока у отдельных животных может изменяться в довольно широких пределах. Она зависит от рационов кормления, породы, возраста, индивидуальных особенностей животного, лактационного периода и т. д. В первые дни после отела кислотность молока (молозива) очень высокая (до 50 °Т) за счет большого содержания белков и солей. По мере установления нормального химического состава молока кислотность снижается. Стародойное молоко (полученное в конце лактации) имеет низкую кислотность (до 10 °Т). Молоко от коров, болеющих маститом, также имеет низкую титруемую кислотность.

В значительной степени титруемая кислотность молока зависит от рационов кормления. Повышение кислотности молока от этого фактора может наблюдаться до 23–26 °Т. Свежее натуральное молоко с повышенной естественной кислотностью пригодно для производства кисломолочных продуктов и сыра (оно подлежит приемке на основании стойловой пробы). При хранении сырого молока кислотность повышается, что вызывает нежелательные изменения компонентов молока, например, снижение устойчивости белков при нагревании. Поэтому титруемая кислотность является одним из критериев оценки качества молока при приемке на молочном заводе.

Активная кислотность, или *водородный показатель* (рН) выражается концентрацией водородных ионов. Водородный показатель — отрицательный десятичный логарифм концентрации ионов водорода, находящихся в растворе. Водородный показатель свежего натурального молока, определяемый потенциометрическим методом с использованием рН-метра, в среднем равен 6,6–6,7.

Изменение рН происходит из-за изменения концентрации отдельных составных частей молока или вследствие сдвига фазового равновесия. Величина его изменяется при разбавлении (повышается) или концентрировании (понижается) молока, при термической обработке (незначительное снижение). Наиболее сильно влияют на изменение рН молока процессы обмена веществ молочнокислых бактерий.

В производственных условиях измерение рН необходимо проводить в тех случаях, когда концентрация водородных ионов оказывает решающее влияние на качество и выход молочных продуктов.

От величины рН зависят многие производственные показатели: коллоидное состояние белков молока и стабильность полидисперсной

системы молока; условия развития полезной и вредной микрофлоры и ее влияние на процессы сквашивания и созревания; состояние равновесия между ионным и коллоидным фосфатом кальция и обусловленная этим термоустойчивость белковых веществ; активность нативных и бактериальных ферментов; скорость образования типичных компонентов вкуса и запаха отдельных молочных продуктов; очищающе-дезинфицирующая способность моющих и дезинфицирующих средств. Таким образом, показатель pH служит для молока показателем качества и фактором управления технологическими процессами.

Изменения активной и титруемой кислотности не совпадают. При хранении сырого молока активная кислотность изменяется медленнее, чем титруемая. Такое несовпадение объясняется буферными свойствами молока. Благодаря содержанию гидрофосфатов, белков, цитратов и диоксида углерода молоко действует как комплексный буфер. Он защищает молоко и молочные продукты от возможного резкого изменения pH, которое может повлиять на них неблагоприятным образом. При производстве кефира, например, при титруемой кислотности 80 °T pH имеет небольшую величину – 4,76. Это дает возможность для развития молочнокислых бактерий. Количество кислоты или щелочи, которое необходимо добавить к 100 мл молока, чтобы изменить pH на единицу, называется буферной емкостью молока.

Плотность молока представляет собой массу молока в единице объема при 20 °C (кг/м), определяемую ареометрическим методом. Плотность зависит от температуры молока и его составных частей. Из-за непостоянства состава молока она колеблется в пределах от 1026 до 1032 кг/м³. Плотность молока изменяется в течение лактационного периода под влиянием и других факторов. В первые дни после отела плотность достигает 1400 кг/м³ (молозиво).

Плотность молока от больных животных ниже плотности нормального молока. При добавлении к молоку воды плотность его уменьшается (10% добавленной воды снижает плотность в среднем на 3 кг/м³). Подсытание сливок или разбавление обезжиренным молоком вызывает повышение плотности.

Вязкость молока. Это свойство жидкости оказывать сопротивление при перемещении одной ее части относительно другой. На вязкость молока влияют наличие эмульгированных и коллоидно-растворимых частиц, концентрация жира, величина жировых шариков и распределение их по размерам, наличие агломератов жировых шариков, содержание казеина и его состояние (гидратация, величина мицелл), состояние сывороточных белков, обработка молока после

доения, нагревание молока, время лактации и т. д. Содержание лактозы и ионов, а также сывороточных белков незначительно влияет на вязкость молока в нативном состоянии. В среднем вязкость молока при 20 °С равна 1,8 мПа·с, вязкость молозива достигает 25 мПа·с. При нагревании вязкость повышается в том случае, если температура превышает точку коагуляции сывороточных белков. Это свойство используют в производстве сгущенного молока. Самое сильное влияние на вязкость молока оказывает молочный жир.

Увеличение общей поверхности жировых шариков и адсорбция мицелл казеина на этой поверхности при образовании адсорбционной оболочки жировых шариков в процессе гомогенизации приводит к повышению вязкости гомогенизированного молока. Гомогенизация охлажденных сливок может привести к формированию пудингообразной консистенции продукта. С увеличением массовой доли сухих веществ в молочных продуктах вязкость также повышается.

Вязкость влияет на физико-химические процессы в производстве молока и молочных продуктов. Высокая вязкость отрицательно сказывается на скорости разделения молока и отделении сгустка в творожных сепараторах, сепараторах-молокоочистителях, сливкоотделителях и бактериофагах.

От изменений вязкости зависит кристаллизация лактозы при производстве концентратов молочной сыворотки. При повышении вязкости замедляется диффузия молекул лактозы в зародыши кристаллов. Отрицательно сказывается высокая вязкость при выработке сметаны и других высокожирных продуктов. Например, при опорожнении резервуаров для сливок или сметаны на их стенках остается большое количество продукта вследствие его адгезии, что ведет к сверхнормативным потерям в производстве.

Показатель вязкости имеет важное значение при производстве кисломолочных продуктов. Вязкость жидких кисломолочных продуктов зависит от напряжения и скорости сдвига (для неньютоновских жидкостей). Жидкие кисломолочные продукты относятся к аномально вязким (псевдопластичным) жидкостям. Структура продукта определяет его консистенцию. Измерение реологических свойств жидкости кисломолочных продуктов значительно дополняет характеристику их структуры и консистенции. Для этого определяют структурную вязкость продукта с неразрушенной, разрушенной и восстановленной структурами, условную и пластическую вязкость. Для производства высококачественных кисломолочных продуктов необходимо на стадии окончания сквашивания определять условную вязкость сгустка — по времени истечения сгустка (в секундах) при

температуре 20 °С из специальной пипетки вместимостью 100 см³. Вязкость жидких кисломолочных продуктов зависит от температуры, массовой доли жира и кислотности. Так, при производстве кефира резервуарным способом повышение температуры созревания с 8–14 °С до 14–20 °С приводит к снижению условной вязкости, соответственно, на 1,5 и 1,0 с на каждые 3 °С. При увеличении массовой доли жира на 1% условная вязкость увеличивается на 10 с, при кислотности сгустка 100–105 °Т она достигает максимальной величины, а затем снижается.

Однако в технологии сгущенного молока, сметаны и некоторых других продуктов вязкость иногда искусственно увеличивают, добавляя специальные стабилизаторы. Это связано и с потребительскими свойствами продуктов.

Поверхностное натяжение молока. На границе соприкосновения с воздухом поверхностное натяжение является следствием существования внутреннего давления — силы, втягивающей молекулы внутрь жидкости и направленной перпендикулярно к поверхности. Поверхностное натяжение молока (около $44 \cdot 10^{-3}$ Н/м) ниже, чем воды ($72,7 \cdot 10^{-3}$ Н/м), так как в молоке присутствуют поверхностно-активные вещества, снижающие поверхностное натяжение. К ним относят белки плазмы молока, белки оболочек жировых шариков, фосфолипиды, жирные кислоты. Поверхностное натяжение молока зависит от многих факторов, в том числе оно понижается с повышением температуры и при прогоркании молока, так как при липолизе образуются поверхностно-активные вещества в виде жирных кислот, ди- и моноглицеридов. от поверхностного натяжения зависит пенообразование молока при механической обработке, растворении сухого молока и т. д. Все факторы, снижающие поверхностное натяжение, уменьшают пенообразование, и наоборот. Это играет большую роль в технологии многих молочных продуктов и влияет на их качество.

Температура замерзания молока — величина довольно постоянная, в среднем она равна -0,54 °С (при колебаниях от -0,53 до -0,55 °С). Это свойство молока зависит от количества растворенных частиц, а не от их вида или структуры. Оно обуславливается только истинно растворимыми составными частями молока: лактозой и солями, причем последние содержатся в молоке примерно в постоянной концентрации. Для поддержания осмотического давления при нарушении секреции вымени требуется, чтобы повышенная концентрация ионов компенсировалась пониженным содержанием лактозы. На зависимости температуры замерзания от концентрации истинно

растворимых составных частей молока основано определение фальсификации молока водой. Температура замерзания молока, разбавленного водой, повышается.

Химический состав и физико-химические свойства натурального молока могут изменяться преднамеренно (фальсифицироваться) сдатчиками молока. Для производства молочных продуктов наиболее нежелательным является разбавление молока водой, добавление нейтрализующих (соды, аммиака) и консервирующих (формальдегида, пероксида водорода) веществ. При разбавлении молока водой снижаются кислотность, плотность, массовая доля сухих веществ, в том числе жиров, белков, СОМО. Молоко плохо свертывается сычужным ферментом, снижается выход молочных продуктов, увеличиваются потери. При подозрении на фальсификацию водой натуральность молока можно установить косвенным путем по плотности или температуре замерзания (табл. 1.5). Считают, что плотность молока понижается примерно на 3 кг/м^3 на каждые 10% добавленной воды.

1.5. Температура замерзания молока в зависимости от степени разбавления водой

Степень разбавления молока водой, %	Температура замерзания молока, °С	Степень разбавления молока водой, %	Температура замерзания молока, °С
0	-0,540	7	-0,502
1	-0,534	8	-0,497
2	-0,529	9	-0,491
3	-0,524	10	-0,486
4	-0,518	15	-0,459
5	-0,513	20	-0,432
6	-0,508	25	-0,405

Фальсификацию молока нейтрализующими веществами осуществляют для снижения его кислотности, особенно в летнее время. Такое молоко имеет мыльный привкус, быстро портится из-за гнилостной микрофлоры, беспрепятственно развивающейся в молоке при отсутствии молочнокислой, и становится непригодным для переработки в молочные продукты. Наличие нейтрализующих веществ определяют во время приемки молока на заводе при подозрении на их присутствие.

Кроме названных выше физико-химических свойств молоко обладает электропроводностью, теплопроводностью, температуропроводностью, удельной теплоемкостью.

Некоторые физико-химические показатели молочного сырья представлены в табл. 1.6.

1.6. Физико-химические показатели молочного сырья

Показатель	Цельное молоко	Сливки	Обезжиренное молоко	Пахта	Молочная сыворотка
Плотность при 20 °С, кг/м ³	1027–1033	933–1025	1030–1034	1030–1033	1021–1024
Вязкость при 20 °С, мПа·с	1,6–2,1	9,0	1,71–1,75	1,65–1,70	1,55–1,66
Поверхностное натяжение при 20 °С, Н/м	0,0424–0,051	–	0,0494	–	–
Удельная теплоемкость при 0–40 °С, Дж/(кг·К)	3778–4020	3360	3880–3956	3936	4800
Кислотность, °Т	16–20	14–16	16–20	20	подсырная 10–25
					творожная 50–85
					казеиновая 50–120

Органолептические свойства. Молоко характеризуется определенными органолептическими, сенсорными (от лат. *sensus* – чувство, ощущение) свойствами: внешним видом, текстурой (консистенцией, структурой и смазывающими свойствами) цветом, вкусом, запахом и ароматом. Эти свойства выявляются благодаря зрительным, осязательным, обонятельным, вкусовым и слуховым ощущениям человека. Органолептический анализ – это качественная и количественная оценка ответной реакции органов чувств человека на свойства продукта. Качественную оценку выражают словесным описанием, а количественную – численно и графически. Органолептические свойства наряду с химическим составом и пищевой ценностью определяют выбор продукта потребителем.

Органолептические свойства сырых молока и сливок обусловлены зоотехническими и ветеринарными факторами, химическим составом, условиями их получения, первичной обработки, хранения и транспортирования. Молоко, полученное от здоровых животных, содержащихся на полноценных рационах и при соблюдении зоогигиенических правил, имеет приятный сладковатый вкус и легкий специфический запах. Цвет молока от здоровых коров – белый с легким желтоватым оттенком, интенсивность которого зависит от

количества жира и каротина. Консистенция молока — однородная, без хлопьев и сгустков. На вкус, запах и аромат сырого молока влияют такие факторы, как состояние здоровья животных, стадия лактации (молозиво и стародойное молоко имеют солоноватый и горьковато-солоноватый привкусы), рационы кормления, продолжительность и условия хранения молока и т. д. Резкие изменения содержания вкусовых и ароматобразующих компонентов, физико-химических свойств и состава молока приводят к возникновению различных пороков вкуса и запаха, которые могут перейти при переработке такого сырья в готовые молочные продукты.

Технологические свойства. К основным технологическим свойствам молока относят термоустойчивость и сычужную свертываемость.

Термоустойчивость — способность молока выдерживать нагревание при высоких температурах без видимой коагуляции белков. Основными показателями устойчивости белковых молекул в растворе являются поверхностный заряд и степень гидрофильности частиц. Следовательно, факторы, уменьшающие отрицательный заряд казеиновых мицелл и степень их гидратации, будут снижать термоустойчивость молока. К ним относят количественные и качественные изменения химического состава молока, и в первую очередь фракционного состава казеина, степень денатурации сывороточных белков, солевой состав и pH молока. Колебания состава молока зависят от времени года, стадии лактации, породы коровы, рационов кормления и т. д.

На термоустойчивость молока влияет также содержание ионов кальция и магния. При повышении содержания ионов кальция в молоке происходит их присоединение к казеинкальцийфосфатному комплексу. В результате уменьшается отрицательный заряд казеиновых частиц, они агрегируют и коагулируют (выпадают в осадок) при нагревании.

Свежее молоко кислотностью 16–18 °Т (pH 6,6–6,7) выдерживает высокотемпературную обработку без видимой коагуляции белков. Повышение кислотности приводит к снижению термоустойчивости, так как в результате уменьшается заряд белковых частиц и часть коллоидных солей кальция переходит в растворимое состояние. Это приводит к агрегации казеиновых частиц и их коагуляции при нагревании.

Термоустойчивость молока контролируют при производстве стерилизованных продуктов, молочных консервов, продуктов детского питания.

Сычужная свертываемость — способность молока свертываться под действием сычужного фермента с образованием довольно плотного сгустка. На сычужную свертываемость молока влияют в первую очередь содержание казеина и ионов кальция: чем выше их

содержание, тем быстрее свертывается молоко и тем плотнее образующийся белковый сгусток.

Содержание казеина и ионов кальция, а также кислотность молока учитывают при оценке сыропригодности молока.

1.2.3. Влияние зоотехнических и ветеринарных факторов на состав и свойства молочного сырья

На химический состав, физико-химические, органолептические и технологические свойства молочного сырья значительно влияют зоотехнические (порода и возраст животного, период лактации, состояние здоровья, индивидуальные особенности) и ветеринарные (корма, условия кормления и содержания, медикаменты, используемые для лечения животных, время года и т. д.) факторы.

Зоотехнические факторы. Для каждой породы коров характерен свой обмен веществ, от которого зависит синтез компонентов молока. Молоко коров разных пород различается по массовой доле жира и размерам жировых шариков, по массовой доле белка, фракционному составу казеина и размерам казеиновых мицелл. Особое значение для технологии продуктов, в частности белковых, имеет соотношение массовых долей жира и белка в молоке, которое выражается в количестве граммов белка, приходящемся на 100 г жира. Чем больше в молоке жира, белка, лактозы и пигментов, тем более выраженный цвет и полный вкус оно имеет при высокой дисперсности белка и жира.

Технологические свойства также зависят от породы и несколько изменяются с возрастом животных. Коровы среднего возраста (шесть лактаций) продуцируют молоко с лучшими органолептическими показателями. При повышении числа лактаций в молоке возрастает общее содержание летучих и непредельных жирных кислот. В таком молоке наиболее вероятно окисление липидов и, как следствие, ухудшение органолептических свойств при хранении.

Состав и свойства молока изменяются во время лактации. Различают три стадии лактации коров: молозивную (продолжается, по разным данным, от 5 до 10, а иногда до 15 суток после отела), нормального молока (285–277 суток) и стародойного молока (7–15 суток перед запуском коровы). Резкое изменение физиологического состояния животного сопровождается образованием секрета, который заметно отличается от нормального молока по составу и свойствам, поэтому молозиво и стародойное молоко принято называть аномальным молоком.

Для молозива характерно высокое содержание белков (до 15%), особенно альбуминов и глобулинов, количество которых постепенно снижается и приблизительно на четвертый день лактации достигает

величины, обычной для нормального молока. Молозиво по консистенции более густое, чем нормальное молоко, желто-бурого цвета с солоноватым вкусом и специфическим запахом. По сравнению с нормальным молоком, оно содержит больше каротина, витаминов (А, В₁, В₂ и др.), ферментов (каталазы, пероксидазы), а также иммуноглобулинов и лейкоцитов. Кроме белковых веществ, молозиво имеет повышенное содержание минеральных веществ, высокую кислотность (выше 40 °Т) и плотность 1038 кг/м³, в связи с чем оно не выдерживает режимов тепловой обработки (свертывается при нагревании), плохо свертывается сычужным ферментом и не подлежит приемке на молочных заводах. Только через 6–8 дней после отела, когда молоко приобретает нормальный состав и свойства, его можно использовать для производства молочных продуктов.

В течение лактационного периода, который продолжается в среднем около 300 дней, состав и свойства молока изменяются незначительно. Массовая доля жира в первую половину лактации немного снижается, затем снова возрастает. То же происходит с содержанием белка, лактозы и минеральных веществ, но в меньшей степени. От стадии лактации зависит количество лактонов, играющих важную роль в образовании вкуса и запаха молока после тепловой обработки. По данным В.П. Шидловской, количество δ -оксикислот и β -кетокислот (предшественники δ -лактонов и метилкетонов) уменьшается в начале и увеличивается в конце лактации. В молоке, полученном в первые 2 месяца лактации, быстро окисляются липиды, что связано с большим содержанием меди (катализирует липолиз), 35% которой связано с жировой фазой.

За 10–15 дней перед запуском свойства и состав молока опять отклоняются от нормы. Оно приобретает солоновато-горьковатый вкус, массовая доля жира повышается до 9%, жировые шарики становятся мелкими, массовая доля белков и минеральных веществ несколько увеличивается, а кислотность снижается до 5–6 °Т. Такое молоко называют стародойным и не принимают в переработку на молочных заводах.

На состав молока и его синтез в молочной железе влияют все факторы, связанные с кормлением животных: недокорм, виды и состав кормов и т. п. При недокорме на 30% по сравнению с нормой массовая доля сухих веществ в молоке снижается на 0,7–0,9%, в том числе жира – на 0,4, белка – на 0,3%. Эти факторы, в свою очередь, влияют на технологические свойства молока. Особое значение имеют правильный подбор кормов по кормовой ценности, условия стойлово-

го содержания и доения коров. Несоблюдение санитарно-гигиенических норм содержания и кормления животных в 54 случаях из 100 приводит к изменениям органолептических показателей и приобретению несвойственных для сырого молока запаха и вкуса (%): кормовые – 25,3; скотного двора – 9,0; нечистые – 6,0; окисленные – 3,1; затхлые – 3,0; липолизные, прогорклые – 2,1; горький вкус – 1,3; наличие соды, аммиака, лекарств, химикатов, нефтепродуктов – 2,6.

Интенсивность изменений состава и свойств молока зависит от вида и количества кормов, промежутков между кормлением и доением, наличия и химического состава ароматических и вкусовых веществ в кормах. Использование в кормлении животных большого количества льняных и подсолнечных жмыхов приводит к повышению массовой доли жира в молоке и увеличению содержания ненасыщенных жирных кислот. Жир при этом приобретает мягкую, мажущуюся консистенцию, имеет пониженную точку плавления и нестойк при хранении. Наличие в рационах животных в больших объемах кормовой свеклы, картофеля, соломы способствует повышению количества насыщенных жирных кислот в молочном жире, а сам жир имеет твердую, крошливую консистенцию. При использовании силоса и других кормов, бедных солями кальция, ухудшается такой показатель молока как сычужная свертываемость.

Быстрее всего от вида кормов изменяются органолептические показатели молока и вырабатываемых из него молочных продуктов. Грубые и сочные корма, а также сорняки чаще, чем другие корма, вызывают изменения вкуса и запаха молока. Считают, что в молоке с кормовыми пороками может содержаться до 22 химических соединений, основными из которых являются метилсульфид, ацетон, бутанон, этанол, пропанол, изопропанол, этаналь и этилацетат. Наиболее распространены силосные запах и вкус молока. Нежелательные запах и вкус силоса возникают при его неправильном брожении и обусловлены присутствием эфиров, спиртов, альдегидов и кетонов. На степень выраженности силосных запаха и вкуса молока влияют содержание влаги в силосе, его доброкачественность, вентиляция на скотном дворе в момент скармливания. Ввиду того, что они проявляются быстрее при прямом контакте молока с силосом, нежелательно хранить молоко в одном помещении с силосом.

Кроме вышеперечисленных факторов, на состав и свойства молока влияет время года. Весной и в начале лета в молоке снижается массовая доля сухих веществ, в том числе казеина, свободных аминокислот (валина, лейцина, фенилаланина и др.), уменьшается раз-

мер казеиновых мицелл, повышается кислотность. Весной снижается также массовая доля жира, в том числе свободных жирных кислот (до 84,8 мг/100 г жира), витаминов (биотина, РР, группы В и др.), макро- и микроэлементов (Са, Мп, Со, Fe и др.). Эти изменения приводят к ухудшению органолептических и технологических показателей, а также к снижению качества и выхода молочных продуктов, вырабатываемых из «весеннего» молока. Осенью и зимой в молоке содержится наибольшее количество белков и жиров, повышается кислотность, появляются более выраженные кормовые пороки вкуса и запаха. Все это в совокупности объясняется особенностью кормовых рационов в разное время года, лактационным периодом, условиями содержания коров и т. д.

Ветеринарные факторы. Состояние здоровья животных значительно влияет на качество молока. При заболевании животных и использовании для их лечения медикаментов могут резко измениться химический состав и свойства молока. При мастите, ящуре, эндометрите, гастроэнтерите и некоторых других заболеваниях значительно увеличивается содержание соматических клеток (от 300–500 тыс. до 1 млн и более в 1 см³). Особенно распространено заболевание коров маститом. Это воспаление тканей молочной железы, которое сопровождается снижением секреции молока и изменением его состава и свойств. В частности, массовая доля жира снижается до 2,2%, лактозы – до 3,6%, массовая доля белка повышается до 6,0% за счет увеличения содержания сывороточных белков, а доля казеина заметно уменьшается, причем количество γ -казеина увеличивается; плотность снижается до 1025 кг/м³, кислотность – до 5–13 °Т. При этом консистенция молока становится водянистой, часто хлопьевидной, слизистоворожистой, иногда пенящейся. Наблюдаются следы крови и гноя. Молоко имеет неприятный запах, слабосолено-горький, прогорклый вкус. Маститное молоко плохо свертывается сычужным ферментом, сгусток получается дряблый, слабо отделяющий сыворотку. Молочнокислые бактерии в таком молоке развиваются медленно, производство качественных кисломолочных продуктов и сыра из него невозможно.

Наиболее частые причины мастита – инфекция, нарушение правил доения и ухода за выменем и доильными аппаратами. Клиническую форму мастита с ярко выраженными изменениями состава и свойств молока легко распознать. Труднее определить наличие маститного молока в сборном при субклинических (скрытых) формах мастита. Для этого при приемке молока на молочном заводе определяют количество соматических клеток. При показателе выше 500 тыс.

в 1 см^3 молоко не допускается использовать для производства сыра и кисломолочных продуктов.

Для лечения того или иного заболевания животных применяют медикаменты, в том числе и антибиотики. Неправильная дозировка препаратов, а также несоблюдение сроков сдачи на заводы молока от подвергавшихся лечению коров приводят к попаданию антибиотиков в молоко и, следовательно, к изменению его органолептических и технологических свойств.

1.3. Требования к качеству молока

Молоко, поступающее на переработку (заготавливаемое), должно отвечать установленным требованиям, позволяющим использовать его как сырье для молочной промышленности. Основными показателями, определяющими пригодность молока к переработке, являются химический состав, присущий нормальному молоку, физико-химические (содержание соматических клеток и механических примесей, кислотность, плотность, температура), микробиологические (КМАФАнМ – количество аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов), технологические (термостойчивость, сычужная свертываемость) и органолептические показатели. Нормативы этих показателей прописаны в Федеральном законе №88-ФЗ и №163-ФЗ «Технический регламент на молоко и молочную продукцию».

Считается, что чем выше общая бактериальная обсемененность молока, тем больше вероятность присутствия в нем патогенных микроорганизмов и тем выше количество остаточной микрофлоры в молоке после тепловой обработки. В свежесцеженном молоке всегда содержится определенное количество микроорганизмов. Они попадают в него из выводных протоков молочной цистерны.

Бактериальная обсемененность сырого молока зависит от соблюдения санитарных правил при получении, обработке, хранении и транспортировании молока на завод. Свежесцеженное молоко, полученное в хороших санитарных условиях, содержит, по разным данным, от 5 до 300 тыс. бактерий в 1 см^3 . Заметное изменение физико-химических свойств молока может вызвать увеличение числа микроорганизмов до 5–100 млн в 1 см^3 , причем свертывание молока может наступить при содержании бактерий от 1 до 5 млн в 1 см^3 . Поэтому рекомендуется максимально допустимым количеством микроорганизмов в заготавливаемом молоке считать 1 млн в 1 см^3 . В мировой практике принято считать заготавливаемое молоко хорошо-

го качества при содержании бактерий до 500 тыс. в 1 см³, удовлетворительного – до 4 млн в 1 см³ и плохого – свыше 4 млн в 1 см³.

По механической чистоте в мировой практике сырое молоко оценивается следующим образом: допустимое содержание механических примесей в молоке высокого качества – не более 0,5 мг в 1 см³, среднего – не более 2,5 и низкого – более 2,5 мг в 1 см³. В нашей стране определение содержания механических примесей проводят визуально (сравнение с эталоном ватного фильтра после фильтрования молока).

Содержание соматических клеток более 500 тыс. в 1 см³ указывает на примесь маститного, стародойного молока, молозива или молока от коров с другими патологическими нарушениями в организме.

Из органолептических показателей важна консистенция: сырого молока – однородная нетягучая, слегка вязкая, без осадка жидкость; сливок, полученных из такого молока, – однородная вязкая, слегка тягучая, без осадка жидкость. Если в молоке (сливках) появляется отстой жира, степень уплотнения которого зависит от его свежести, консистенция будет неоднородной. У свежего молока (сливок) отстоявшийся жир рыхлый, четкого разделения слоев у сливок и молока нет. При взбалтывании молока (сливок) жир снова равномерно распределяется и консистенция становится однородной. Вкус и запах сырого свежего молока (сливок) специфические, приятные, вкус – слегка сладковато-солонватый. Цвет молока – белый со слегка желтоватым оттенком (у сливок – выраженный желтый оттенок), который зависит от количества пигментов, жира, казеина и степени их дисперсности.

Титруемая кислотность свежего молока колеблется от 16 до 18 °Т, активная кислотность свежего молока имеет значения pH от 6,3 до 6,9. Повышенная кислотность косвенно может показывать на высокую бактериальную и механическую загрязненность молока, нарушения режимов и условий первичной обработки, транспортировки и хранения сырого молока.

Свежевыдоенное молоко имеет температуру организма животного, т. е. около 38 °С, затем она снижается до 25–30 °С. При этих температурах хорошо сохраняются первоначальное состояние полидисперсной системы молока и его свойства. Но одновременно хорошо развивается и микрофлора. Поэтому молоко не позднее чем через 2 ч после доения необходимо профильтровать, охладить до температуры (4±2) °С и доставить на завод охлажденным в течение 36 ч. При сдаче на предприятия молочной промышленности температура молока должна быть не выше 10 °С. Допускается вывоз неохлажденного молока в течение 1 ч после дойки.

Основным нормативным документом на молоко и молочную продукцию является Федеральный закон № 88-ФЗ от 12.06.2008 (с учетом редакции Федерального закона № 163-ФЗ) – Технический регламент на молоко и молочную продукцию. Этот закон устанавливает:

1. объекты технического регулирования, перечень и описание которых содержит настоящий Федеральный закон;
2. требования к безопасности объектов технического регулирования;
3. правила идентификации объектов технического регулирования для целей применения настоящего Федерального закона;
4. правила и формы оценки соответствия и подтверждения соответствия объектов технического регулирования требованиям настоящего Федерального закона;
5. требования к терминологии, упаковке, маркировке молока и молочной продукции, включая требования к информации о наименовании, составе и потребительских свойствах, предоставляемой потребителям на упаковке этих продуктов и в сопроводительных документах.

Технический регламент также устанавливает права и обязанности участников, регулируемые Федеральным законом №88-ФЗ отношения.

Объектами технического регулирования, перечень и описание которых содержит настоящий Федеральный закон, являются:

- молоко и молочная продукция, в том числе продукты детского питания на молочной основе, выпущенные в обращение на территории Российской Федерации;
- процессы производства, хранения, перевозки, реализации и утилизации молока и молочной продукции.

Перечень молока и молочной продукции, являющихся объектами технического регулирования, представлен ниже:

- сырое молоко и сырые сливки;
- питьевое молоко и питьевые сливки;
- кисломолочные жидкие продукты;
- творог и творожные продукты;
- сметана и продукты на ее основе;
- масло из коровьего молока;
- масляная паста;
- сливочно-растительный спред и сливочно-растительная топленая смесь;
- сыр и сырные продукты;
- молочные, молокосодержащие консервы;

- мороженое и смеси для мороженого;
- функционально необходимые компоненты;
- продукты детского питания на молочной основе;
- вторичные продукты переработки молока.

1.3.1. Требования к сырому молоку, сырому обезжиренному молоку и сырým сливкам

Условия получения от сельскохозяйственных животных молока, перевозки, реализации и утилизации сырого молока и сырых сливок, молочных продуктов непромышленного производства должны соответствовать требованиям законодательства Российской Федерации о ветеринарии.

Сырое молоко должно быть получено от здоровых сельскохозяйственных животных на территории, благополучной в отношении инфекционных и других общих для человека и животных заболеваний.

Не допускается использование в пищу сырого молока, полученного в течение первых семи дней после дня отела животных и в течение пяти дней до дня их запуска (перед их отелом) и (или) от больных животных и находящихся на карантине животных.

Изготовитель должен обеспечивать безопасность сырого молока в целях отсутствия в нем остаточных количеств ингибирующих, моющих, дезинфицирующих и нейтрализующих веществ, стимуляторов роста животных (в том числе гормональных препаратов), лекарственных средств (в том числе антибиотиков), применяемых в животноводстве в целях откорма, лечения скота и (или) профилактики его заболеваний.

Молоко, получаемое от разных видов сельскохозяйственных животных, за исключением коровьего молока, должно соответствовать показателям, установленным стандартами, нормативными документами федеральных органов исполнительной власти, сводами правил и (или) техническими документами.

Массовая доля сухих обезжиренных веществ в коровьем сыром молоке должна составлять не менее чем 8,2%. Плотность коровьего молока, массовая доля жира в котором составляет 3,5%, должна быть не менее чем 1027 кг/м^3 при температуре 20°C , или не менее чем эквивалентное значение для молока, массовая доля жира в котором другая. В Техническом регламенте на молоко и молочную продукцию обозначены показатели идентификации молочного сырья, используемого в молочной промышленности (табл. 1.7).

Требования к качеству заготавливаемого молока при приемке его на молочном заводе приведены в ГОСТ 52054-2003 «Молоко натур-

ральное коровье – сырье» с учетом изменений после введения Федерального закона №88-ФЗ – Технический регламент на молоко и молочную продукцию.

При сдаче-приемке на молочном заводе молоко должно быть натуральным, свежим, белого или слегка кремового цвета, без осадка и хлопьев. Плотность молока – не ниже 1027 кг/м^3 .

1.7. Показатели идентификации сырого молока коровьего, сырого обезжиренного молока и сырых сливок

Показатели	Параметры		
	Сырое молоко коровье	Сырое обезжиренное молоко коровье	Сырые сливки
Массовая доля жира, %	2,8–6,0	не более 0,5	не менее 9,0
Массовая доля белка, %	Не менее 2,8		–
Массовая доля сухих обезжиренных веществ молока, %	Не менее 8,2		–
Консистенция	Однородная жидкость без осадка и хлопьев. Замораживание не допускается		Однородная однородная. Допускаются единичные комочки жира
Вкус и запах	Вкус и запах чистые, без посторонних привкусов и запахов, свойственных свежему молоку. Допускаются слабовыраженные кормовые привкус и запах		Выраженные сливочные, чистые, сладковатые. Допускаются слабо выраженные кормовые привкус и запах
Цвет	От белого до светло-кремового	Белый со слегка синеватым оттенком	Белый с кремовым оттенком, однородный
Кислотность, °Т	16,0–21,0		14,0–19,0
Плотность, кг/м^3	Не менее 1027,0 при температуре 20°C и массовой доле жира 3,5%	Не менее 1030,0 для высшего сорта, не менее 1029,0 для первого и второго сортов при температуре 20°C	–
Температура заморозки (используется при подозрении на фальсификацию), $^\circ\text{C}$	Не выше минус 0,52	–	–

В соответствии с ГОСТом, сырое молоко подразделяют на четыре сорта: высший, первый, второй и несортное (табл. 1.8).

1.8. Требования к качеству молока-сырья. Характеристика и норма

Показатель	Высший сорт	Первый сорт	Второй сорт	Несортное молоко
Консистенция	Однородная жидкость без осадка и хлопьев. Замораживание не допускается			Наличие хлопьев белка, механических примесей
Запах и вкус	Чистые, без посторонних запахов и привкусов, не свойственных свежему натуральному молоку			Выраженные кормовые привкус и запах
			Для второго сорта в зимне-весенний период допускаются слабовыраженный кормовые привкус и запах	
Цвет	От белого до светло-кремового			Кремовый, от светло-серого до серого
Кислотность, °Т	16-18	16-18	16-20,99	Менее 15,99; Более 21
Группа чистоты, не ниже	I	I	II	III
Плотность, кг/м ³ , не менее	1028	1027	1027	Менее 1026,9
Температура замерзания, °С	Не выше -0,52	Не выше -0,52	Не выше -0,52	Не выше -0,52
КМАФАнМ, КОЕ/см ³ (г), не более	1·10 ⁵	5·10 ⁵	4·10 ⁶	—
Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы, в 25 г продукта	Не допускаются			—
Соматические клетки в 1 см ³ , не более	4·10 ³	1·10 ⁶	1·10 ⁶	—

Может использоваться взамен определения плотности молока.

1.9. Допустимые уровни содержания потенциально опасных веществ в сыром молоке, сыром обезжиренном молоке и сырых сливках

Продукт	Потенциально опасные вещества	Допустимый уровень, мг/кг (л), не более
Сырое молоко, сырое обезжиренное молоко, сырые сливки	Токсичные элементы:	
	свинец	0,1
	мышьяк	0,05
	кадмий	0,03
	ртуть	0,005
	Микотоксины:	
	афлатоксин M1	0,0005
	Антибиотики:	
	левомицетин	Менее 0,01
	тетрациклиновая группа	Менее 0,01 ед/г
	стрептомицин	Менее 0,5 ед/г
	пенициллин	Менее 0,01 ед/г
	ингибирующие вещества	Не допускаются
	Пестициды:	
	гексахлорциклогексан (альфа-, бета-, гамма-изомеры)	0,05 (1,25 для сливок в перерасчете на жир)
	ДДТ<1> и его метаболиты	0,05 (1,0 для сливок в перерасчете на жир)
	Радионуклиды:	
	цезий-137	100 Бк/л (кг)
	стронций-90	25 Бк/л (кг)

<1> ДДТ – дихлордифенил-трихлорэтан, инсектицид.

К сырному молоку, используемому для производства пищевых продуктов с определенными потребительскими свойствами, могут предъявляться дополнительные требования:

1. Сырое молоко сельскохозяйственных животных, предназначенное для производства продуктов детского питания на молочной основе, должно соответствовать вышеизложенным требованиям, а также следующим требованиям:

1. показатель чистоты – не ниже первой группы, показатель термостойчивости по алкогольной пробе – не ниже третьей группы, в соответствии с требованиями национального стандарта;
2. количество колоний мезофильных аэробных микроорганизмов и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) не превышает допустимый уровень, установленный для сырого молока высшего и первого сорта – см. табл. 1.8;

3. количество соматических клеток не превышает допустимый уровень, установленный для сырого молока высшего сорта – см. табл. 1.8;
4. хранение и перевозка сырого молока, предназначенного для производства продуктов детского питания на молочной основе, осуществляются в отдельных емкостях с соблюдением требований Технического регламента на молоко и молочную продукцию;
5. использование сырого молока, показатели идентификации которого не соответствуют виду сельскохозяйственных животных, от которых получено молоко, и (или) показатели безопасности которого не соответствуют требованиям Федерального закона №88, не допускается;

II. Сырое молоко коровье, предназначенное для производства молока стерилизованного, в том числе молока концентрированного или молока сгущенного, должно соответствовать общим требованиям Федерального закона №88, а также показателю термоустойчивости по алкогольной пробе не ниже третьей группы, в соответствии с требованиями национального стандарта;

III. Сырое молоко коровье, предназначенное для производства сыра, должно соответствовать общим требованиям Федерального закона № 88-ФЗ, а также следующим требованиям:

1. сычужно-бродильная проба I и II классов;
2. уровень бактериальной обсемененности по редуктазной пробе I и II классов, в соответствии с требованиями национального стандарта, количество колоний мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов составляет не более чем $1 \cdot 10^6$ КОЕ/см³;
3. количество спор мезофильных анаэробных лактатсбраживающих маслянокислых микроорганизмов составляет для: сыров с низкой температурой второго нагревания – не более чем 13000 спор в кубическом дециметре; сыров с высокой температурой второго нагревания – не более чем 2500 спор в кубическом дециметре;
4. кислотность не более 19 °Т;
5. массовая доля белка не менее 2,8%;

IV. Коровье сырое молоко, предназначенное для производства продуктов диетического питания, должно соответствовать общим вышеизложенным требованиям, а также следующим требованиям:

1. количество колоний мезофильных аэробных микроорганизмов факультативно анаэробных микроорганизмов – не более чем $5 \cdot 10^5$ КОЕ/см³;
2. количество соматических клеток составляет не более чем $5 \cdot 10^5$ в 1 см³;

3. показатель термоустойчивости по алкогольной пробе не ниже второй группы, в соответствии с требованиями национального стандарта.

Показатели химической и радиологической безопасности коровьего сырого молока, сырого обезжиренного молока и сырых сливок не должны превышать уровень, указанный в табл. 1.9.

Показатели микробиологической безопасности и содержания соматических клеток коровьего сырого молока, сырого обезжиренного молока и сырых сливок не должны превышать уровень, указанный в табл. 1.8.

Решение об использовании сырого молока, сырого обезжиренного молока и сырых сливок, не соответствующих требованиям безопасности к допустимым уровням содержания потенциально опасных веществ, микроорганизмов и соматических клеток, принимает изготовитель, в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации о ветеринарии, законодательства Российской Федерации в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и законодательства в области экологической безопасности.

В Техническом регламенте на молоко и молочную продукцию описаны специальные процессы, применяемые при производстве сырого молока: условия содержания, кормления, доения сельскохозяйственных животных, условия сбора, охлаждения и хранения сырого молока и сырых сливок должны соответствовать требованиям законодательства Российской Федерации о ветеринарии.

Сырое молоко после доения сельскохозяйственных животных должно быть очищено и охлаждено до температуры $(4\pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 2 часов.

Допускается хранение сырого молока изготовителем при температуре $(4\pm 2)^\circ\text{C}$ не более чем 36 часов с учетом времени перевозки, хранение сырых сливок при температуре не выше чем 8 градусов Цельсия – не более чем 36 часов с учетом времени перевозки, за исключением хранения сырого молока, сырого обезжиренного молока (включая период хранения сырого молока, используемого для сепарирования), сырых сливок, предназначенных для производства продуктов детского питания на молочной основе (для детей раннего возраста), молочных смесей (в том числе сухих молочных смесей), молочных напитков (в том числе сухих молочных напитков), молочных капс, которые должны храниться при температуре $(4\pm 2)^\circ\text{C}$ не более чем 24 часа с учетом времени перевозки.

Допускается предварительная термическая обработка, в том числе пастеризация, сырого молока, сырого обезжиренного молока и сырых сливок изготовителем в случаях:

- кислотности сырого молока, сырого обезжиренного молока от 19 до 21 °Т, кислотности сырых сливок — от 17 до 19 °Т;
- хранения сырого молока, сырого обезжиренного молока и сырых сливок более чем 6 часов;
- перевозки сырого молока, сырого обезжиренного молока и сырых сливок, продолжительность которой превышает допустимый период хранения охлажденного сырого молока, но не более чем на 25 процентов.

При применении предварительной термической обработки сырого молока, сырого обезжиренного молока и сырых сливок, в том числе пастеризации, режимы термической обработки (температура, период проведения) указываются в сопроводительной документации.

Сельскохозяйственные товаропроизводители при производстве сырого молока, сырого обезжиренного молока и сырых сливок должны использовать оборудование и материалы, разрешенные для контакта с молочными продуктами федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по контролю и надзору в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, защиты прав потребителей.

Во время перевозки охлажденных сырого молока, сырого обезжиренного молока или сырых сливок к месту переработки вплоть до начала их переработки температура таких продуктов не должна превышать 10 °С. Сырое молоко, сырое обезжиренное молоко и сырые сливки, не соответствующие установленным требованиям к их температуре, подлежат немедленной переработке.

Перевозка сырого молока, сырого обезжиренного молока и сырых сливок осуществляется в емкостях с плотно закрывающимися крышками, изготовленных из материалов, разрешенных для контакта с молоком федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по контролю и надзору в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, защиты прав потребителей, и опломбированных. Транспортные средства должны быть оборудованы холодильными системами, обеспечивающими поддержание температуры не выше 10 °С.

Хранение и перевозка сырого молока, сырого обезжиренного молока и сырых сливок сопровождаются документами, подтверждающими их безопасность, и информацией, предусмотренной Техническим регламентом на молоко и молочную продукцию.

Хранение сырого молока, сырого обезжиренного молока и сырых сливок, а также молока, обезжиренного молока, сливок, подвергшихся предварительной термической обработке (включая пасте-

ризацию), до начала переработки, осуществляется изготовителем продуктов переработки молока в отдельных маркированных емкостях при температуре $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Утилизация сырого молока, сырого обезжиренного молока или сырых сливок, не соответствующих требованиям Технического регламента на молоко и молочную продукцию, осуществляется изготовителем или продавцом этих продуктов в порядке, установленном законодательством Российской Федерации о ветеринарии, законодательством Российской Федерации в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и законодательством в области экологической безопасности.

Базисная общероссийская норма массовой доли жира молока составляет 3,4%, белка – 3,0%.

ГОСТом допускается принимать вторым сортом молоко, имеющее плотность 1026 кг/м^3 , кислотность 15°T или 21°T на основании контрольной (стойловой) пробы, если органолептические показатели, степень чистоты, бактериальная обсемененность и содержание соматических клеток соответствуют требованиям стандарта. Срок действия стойловой пробы не превышает 14 суток.

В соответствии с ГОСТ 52054-2003 не подлежит приемке на пищевые цели сырое молоко, а также несортное молоко, подвергнутое тепловой обработке, из хозяйств, неблагополучных по инфекционным заболеваниям, не отвечающее требованиям этого стандарта. При подозрении на не заявленную в сертификате соответствия тепловую обработку молоко контролируют на наличие фосфатазы.

В ГОСТе определены правила приемки сырого молока, сырого обезжиренного молока и сырых сливок на молочном заводе и периодичность контроля испытаний. В каждой партии молока исследуют органолептические показатели, температуру, плотность, кислотность, массовую долю жира и группу чистоты. Не реже одного раза в декаду исследуют массовую долю белка, бактериальную обсемененность (КМАФАнМ – количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов), количество соматических клеток и наличие ингибирующих веществ. Термоустойчивость определяют в каждой партии молока, предназначенного для производства детских продуктов, и ультрапастеризованного молока. При получении неудовлетворительных результатов анализов хотя бы по одному показателю, по нему проводят повторный анализ удвоенного объема пробы, взятой из той же партии молока. Результаты повторного анализа являются окончательными и распространяются на всю партию.

Нейтрализующие вещества исследуют при подозрении на их наличие. Содержание тяжелых металлов, мышьяка, афлатоксина М1,

остаточных количеств пестицидов определяют в соответствии с нормативами, установленными Федеральным законом №88-ФЗ – Технический регламент на молоко и молочную продукцию (в редакции Федерального закона №163-ФЗ от 22.07.2010).

1.4. Санитарно-гигиенические условия получения молока на фермах

Санитарно-гигиенические условия получения молока, а именно условия содержания коров на фермах, сбор и первичная обработка, хранение и транспортирование молока на молочный завод, во многом определяют его качество.

Условия содержания коров (кормление животных и уход за ними) значительно влияют на такие показатели качества молока, как бактериальная и механическая загрязненность и органолептические свойства.

Важное значение для получения доброкачественного молока имеет состав воздуха коровника. Зачастую в нем присутствуют углекислый газ, аммиак, сероводород, взвешенные пылевые частицы и в большом количестве – микрофлора. Причиной этого может являться повышенная концентрация и плотность размещения животных, ограничение их пастбищного содержания, а также несовершенные конструктивные решения прифермских молочных, способы транспортирования туда молока из коровника и оборудование для хранения молока на прифермской молочной.

Для сбора и первичной обработки молока на фермах оборудуют: молокосливные, прифермские молочные и молочные блоки. Недостаток их в том, что чаще всего они заблокированы с коровником и соединяются с ним с помощью коридоров и тамбуров. При соблюдении ветеринарно-санитарных правил, относящихся к воздушной среде помещений для содержания животных, при правильно работающей вентиляции и системе навозоудаления происходит достаточный воздухообмен и поддерживается оптимальный состав воздуха. Это позволяет получать молоко с хорошими санитарными и органолептическими показателями. Нарушение правил из-за неправильной эксплуатации системы вентиляции и других механизмов, или из-за недобросовестного отношения работников ферм к своим обязанностям ведет к ухудшению качества получаемого молока.

При доении молоко собирают в переносные ведра или в молокопровод. В том случае, когда молоко собирают в переносные ведра и затем сливают во фляги, оно длительное время находится в коровнике. В результате оно может впитывать запахи коровника и загрязняться, причем степень загрязнения зависит от санитарных показа-

телей помещения, тары для приемки молока во время доения и хранения, рук и одежды обслуживающего персонала и продолжительности контакта молока с воздухом.

При доении со сбором в молокопровод молоко имеет лучшие органолептические показатели. При сборе в молокопровод 90% молока имеет чистые вкус и запах, а при сборе в переносные ведра – только 54% «летнего» и 17% «зимнего» молока. Но эти показатели могут ухудшаться в зависимости от условий дальнейшего хранения молока до переработки. Так, при увеличении протяженности молокопровода и количества выдаиваемых коров, неудовлетворительной мойке доильной аппаратуры санитарные показатели молока ухудшаются.

Для получения молока требуемого качества необходимо тщательно обрабатывать вымя коровы перед доением; доить коров в доильных помещениях, а не в помещении коровника; сокращать продолжительность доения; отдавать предпочтение доению со сбором в молокопровод, причем использовать доильные аппараты, конструкция которых обеспечивает простоту ухода и поддержание высокого гигиенического состояния. Большое внимание должно уделяться личной гигиене и здоровью обслуживающего персонала фермы, соблюдению чистоты рук, тела и одежды.

Гигиенические требования к работникам изготовителя или продавца молока и продуктов переработки молока, в соответствии с ФЗ №88 – Технический регламент на молоко и молочную продукцию следующие.

Работники, занятые в процессах производства, хранения, перевозки, реализации и утилизации молока и продуктов его переработки, обязаны:

1) проходить предварительные медицинские осмотры (обследования) при поступлении на работу и в дальнейшем – периодические медицинские осмотры (обследования);

2) пройти гигиеническое обучение перед поступлением на работу и аттестацию в установленном порядке;

3) иметь личную медицинскую книжку установленного образца.

Фермы должны быть благополучны по инфекционным заболеваниям, соответствовать п. 4 Ветеринарно-санитарных правил для предприятий (комплексов), иметь санпропускник, изолятор, ветеринарный пункт и карантинное отделение.

Молочная должна быть оборудована согласно Методическим рекомендациям по применению технологических линий для обработки молока, а именно: иметь весы, охладители, очистители (фильтровальные установки), емкости, шланги, насосы. Кроме того,

в ней должны быть лаборатория, мочевая для доильных установок и посуды, системы канализации, водоснабжения (в том числе с подведением горячей воды), ванны, стеллажи. Покрытие на полу должно быть твердым, стены окрашены масляной краской или выложены плиткой для удобства санитарной обработки. Два раза в год следует проводить диспансеризацию коров и аттестацию ферм.

1.5. Бактерицидная фаза молока и способы ее продления

Бактерицидная фаза – это время, в течение которого микроорганизмы, попадающие в свежесцеженное молоко, не развиваются в нем и даже частично отмирают. В течение бактерицидной фазы молоко обладает бактерицидными свойствами. Бактерицидные свойства молока обусловлены наличием в нем антибактериальных веществ (лизозимов, лейкоцитов, нормальных антител, некоторых ферментов и др.), количество которых зависит от индивидуальных особенностей и физиологического состояния животного, а также лактационного периода (молозиво обладает наиболее высокой антибактериальной активностью).

Лизоцимы – это вещества белковой природы, обладающие бактерицидным и бактериостатическим действием по отношению ко многим видам бактерий. В молоке коров находятся четыре группы лизоцимов: лизоцим М (молока), лизоцим В (вымени), лизоцим О (основной), лизоцим Т (термостабильный). Они поступают в молоко из крови или вырабатываются молочной железой и инактивируются (кроме термостабильного) при пастеризации молока. Наибольшей бактерицидной активностью обладает лизоцим М. Он губительно действует на некоторые патогенные микроорганизмы. Если в молоке содержится много микроорганизмов, лизоцимы быстро расходуются и утрачивают свои антибактериальные свойства; отсутствие лизоцима М в свежесцеженном молоке свидетельствует о болезни молочной железы.

Лейкоциты – это клеточные элементы крови, которые в большом количестве содержатся в молоке и выполняют защитную антибактериальную функцию, поглощая и растворяя живые и убитые микроорганизмы. При воспалении молочной железы количество лейкоцитов в молоке возрастает в сотни раз, и по этому признаку диагностируют ранние формы мастита. Лейкоциты так же, как лизоцимы и антитела, уничтожаются при пастеризации молока.

Продолжительность бактерицидной фазы молока зависит от температуры хранения и первоначального количества микрофлоры. При хранении свежесцеженного молока неохлажденным бактерицидная фаза продолжается 1–2 ч в зависимости от его первоначаль-

ного обсеменения. По окончании бактерицидной фазы в молоке при температуре хранения выше 10 °С начинается быстрое размножение микрофлоры, которое ведет к повышению титруемой кислотности, накоплению бактериальных токсинов, не уничтожаемых при пастеризации молока, появлению ферментов бактериального происхождения, вызывающих пороки молока, и т. д.

В увеличении продолжительности бактерицидной фазы молока заинтересованы как производители, так и переработчики, поскольку от этого зависят качество молока и качество вырабатываемых из него продуктов. Снижая температуру хранения молока, можно продлить бактерицидную фазу на достаточно длительное время при условии низкой первоначальной бактериальной обсемененности.

Температура хранения молока, °С	37	30	25	10	5	0
Продолжительность бактерицидной фазы, ч	2	3	6	24	36	48

Большое количество первоначальной микрофлоры в свежесвыдоенном молоке сокращает бактерицидную фазу. Поэтому для увеличения ее продолжительности необходимо улучшать санитарно-гигиенические условия производства молока на ферме, очищать и охлаждать молоко непосредственно после доения.

1.6. Первичная обработка молока на ферме

При первичной обработке свежесвыдоенное молоко очищают от механических загрязнений и охлаждают сразу же после доения.

Фильтрация молока. Наиболее простым способом очистки молока от попавших в него во время доения или дальнейшего хранения механических загрязнений является фильтрация с использованием фильтров различной конструкции.

При механизированном доении молоко фильтруется через закрытые фильтры, установленные в линии молокопровода. Такие фильтры входят в конструкцию доильных установок. Плотные нетканые фильтрующие материалы и бязь обеспечивают очистку молока до группы I, но могут работать без замены при выдаивании до 200 коров. С увеличением числа выдаиваемых коров и объема фильтруемого молока фильтры покрываются плотным слоем осадка, нарушается вакуумный режим доения. Для эффективной очистки молока в доильных установках размещают параллельно два фильтра, соединенные между собой в общую систему посредством трехходовых кранов, при помощи которых можно переключать фильтры в

процессе доения с грязного на чистый для замены фильтрующих тканей на загрязненном фильтре.

В качестве фильтрующих материалов используют марлю, бязь, миткаль, фланель и нетканые материалы из лавсановых или пропиленовых волокон, а также стеклянных, керамических и металлических материалов. Эффективность фильтрования зависит от размеров отверстий фильтрующего материала (табл. 1.10) в сравнении с размерами частиц механических загрязнений, поэтому наименьшую эффективность фильтрования получают при использовании марли, пропускающей практически все механические загрязнения молока, кроме наиболее крупных.

1.10. Размеры отверстий фильтрующих тканей, мкм

Ткань для фильтрования	Минимальные	Максимальные
Бязь	40×150	
Лавсан:		
ТТ573	80×210	130×230
56126а	40×160	80×160
Капрон	80×120	120×250

При сравнительной оценке размеров частиц механических примесей молока и размера отверстий фильтрующих материалов выявлено, что основная их масса может проходить вместе с молоком через отверстия тканей. Более полной очистки молока можно добиться только с помощью нетканого фильтрующего материала (табл. 1.11). В этом случае на поверхности фильтра оседает 0,004 г загрязнений при фильтровании 1 л молока (очищенное молоко оценивается 1-й группой). Бязь задерживает на 25% осадка меньше, и молоко может содержать мелкие частички загрязнений и оцениваться по 2-й группе. При фильтровании через лавсан молоко по степени чистоты оценивается 2-й группой. Капрон непригоден для очистки молока.

При фильтровании во фляги применяют открытые фильтры с плоской или конусообразной решеткой, на которые натянута фильтрующая ткань. Оптимальная температура молока при фильтровании 30–35 °С, но не ниже 25 °С. Молоко очищают, переливая его вручную из одной емкости в другую через фильтр. Способ трудоемок и ненадежен, так как в процессе фильтрования на фильтрующей ткани скапливается осадок, размывающийся при добавлении последующих порций молока и проникающий вместе с ним сквозь фильтр. Это ведет к повторному загрязнению и обсеменению молока микрофлорой. Чтобы этого не допустить, нужно часто менять фильтрующую ткань, что усложняет процесс фильтрования.

1.11. Сравнительная оценка группы чистоты молока, подвергнутого фильтрованию через различные фильтры

Ткань для фильтрования	Минимальные	Максимальные
Нетканые фильтры	0,004	1
Бязь	0,003	1–2
Лавсан: 56126а	0,003	2
Капрон	0,00007	2–3

Недостатками всех типов фильтров являются кратковременность безостановочной работы и возможность разрыва фильтрующей ткани. Продолжительность цикла очистки составляет 20–30 мин, после чего необходимо менять фильтрующую ткань. Молоко на матерчатые фильтры подается температурой 25–30 °С под давлением около 196 кПа.

После окончания фильтрования фильтры подвергают мойке и санитарной обработке для повторного использования. Хлопчатобумажные фильтры стирают в теплом 0,5%-ном растворе дезмола или стирального порошка, прополаскивают в проточной воде, проглаживают или кипятят около 15 мин, затем высушивают. Лавсановые фильтры после стирки в растворе стирального порошка погружают на 20 мин в свежеприготовленный 15%-ный раствор гипохлорита натрия или осветленный раствор хлорной извести, содержащий 0,25–0,5% активного хлора, после чего их прополаскивают и высушивают. При обработке фильтров можно использовать различные моющие и моюще-дезинфицирующие средства. Температуру моющего раствора желательно поддерживать на уровне 80–85 °С, что позволяет исключить последующую дезинфекцию фильтров.

При заполнении ванн, резервуаров или автомолчистерн молоко фильтруют, прокачивая его насосом через фильтрующую ткань. При этом механические примеси под действием давления, создаваемого насосом, разбиваются в пыль и просачиваются через фильтр вместе с молоком. Такой способ еще менее эффективен, чем ручное фильтрование.

Таким образом, фильтрование молока сразу же после выдаивания в целях очистки от механических примесей является необходимой операцией, так как позволяет получать молоко более высокого качества с увеличенным сроком хранения до переработки. Однако способы фильтрования не очень эффективны и зачастую трудоемки. Наиболее эффективна очистка молока от механических примесей с помощью центробежных молокоочистителей.

Центробежная очистка молока. Очистка от механических примесей в сепараторах-молокоочистителях является наиболее совершен-

ной. Она позволяет удалить из молока не только механические примеси, но и слизь, сгустки молока, эпителий, форменные элементы крови. Количество выделяемых примесей доходит до 0,02–0,06% массы молока, пропущенного через молокоочиститель. В зависимости от конструкции сепараторов-молокоочистителей центробежная очистка позволяет удалять от 90 до 660 мг механических примесей из 1 л молока. После очистки молоко оценивается по 1-й группе чистоты.

Центробежную очистку целесообразно проводить при температуре $(40 \pm 5)^\circ\text{C}$, при которой триглицериды молочного жира находятся в жидком состоянии, в результате чего не происходит подсыхания молочного жира и снижаются его потери. Такую температуру имеет свежесвыдоенное молоко, поэтому центробежную очистку нужно проводить в течение 2 ч после доения. Кроме того, в этот период молоко сохраняет бактерицидные свойства, поэтому центробежная очистка не снижает стойкость молока при хранении, тогда как очистка в более позднее время приводит к ухудшению стойкости молока при хранении (табл. 1.12).

1.12. Свойства молока при хранении в течение 24 ч при температуре 6–8 °C

Показатель	Молоко в бактерицидной фазе	Молоко	
		очистка через 2 ч после выдоя	очистка через 3 ч после выдоя
Кислотность, °Т	$17,6 \pm 0,2$	$17,9 \pm 0,2$	$19,3 \pm 0,2$
Проба на редуктазу, ч	$6,8 \pm 0,1$	$6,6 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,1$
Степень чистоты, группа	2	1	1

Центробежные сепараторы-молокоочистители на прифермерских молочных установках устанавливают в поточных линиях обработки молока после емкости-накопителя.

Из-за недостатка средств применение центробежных молокоочистителей на прифермских молочных ограничено.

Охлаждение молока. После очистки свежесвыдоенное молоко должно быть немедленно охлаждено, иначе по истечении 1–2 ч (бактерицидной фазы) его качество резко ухудшается. Хранение неохлажденного молока быстро приводит к потере бактерицидных свойств и нарастанию количества микрофлоры (табл. 1.13).

Из табл. 1.13 видно, что хранение свежесвыдоенного молока неохлажденным приводит к значительному увеличению кислотности, вероятно вследствие повышения общей бактериальной обсемененности и, в частности, ее основной составляющей – молочнокислой микрофлоры.

1.13. Изменение свойств молока в зависимости от температуры хранения

Продолжительность хранения, ч	Кислотность (°Т) при температуре		Коэффициент увеличения числа бактерий при температуре, °С	
	10	32	10	32
0	17,5	17	1	1
2	17,5	18	1	3,2
4	17,5	21	0,9	8,1
6	17,5	29	1,1	12,2
8	17,5	37	1,1	25,8
10	17,5	47	1,2	39,6

Развитие молочнокислых бактерий, вызывающих повышение кислотности молока и его сквашивание, останавливается при температуре, близкой к 10 °С. При температуре от 0 до 10 °С молочнокислые бактерии практически не размножаются. Однако количество другой микрофлоры постепенно возрастает. При температуре около 0 °С в течение двух недель количество бактерий в молоке может увеличиться в десятки тысяч раз и составить сотни миллионов клеток в 1 см³. Сначала развиваются микрококки, затем флюоресцирующие палочки и другие гнилостные микроорганизмы, поэтому процессы порчи охлажденного молока при длительном хранении идут в направлении гнилостного разложения белков и отчасти разложения жиров. Для кратковременного хранения молока (не более одних суток) достаточно охладить молоко до температуры 6–10 °С, для более длительного хранения молоко нужно охлаждать до температуры 2–4 °С. Хранить молоко более 2 суток глубоко охлажденным не рекомендуется во избежание возникновения пороков различного происхождения и изменения физико-химических, технологических и органолептических свойств.

В небольших хозяйствах при доении со сбором в доильное ведро молоко охлаждают в различных емкостях: ушатах, флягах, баках, которые опускают в ванны большой вместимости с холодной водой или льдосоляной смесью либо в специальные бассейны с проточной водой или водой со льдом. При этом время между окончанием доения и началом охлаждения не должно превышать 16–20 мин. Это самый дешевый, но длительный способ охлаждения, не гарантирующий сохранения исходного качества молока. За 7 ч охлаждения в проточной воде температура молока остается на 5 °С выше температуры проточной воды. Более эффективно и менее трудоемко для охлаждения свежедоенного молока использование механизированных охладителей различных конструкций: пластинчатых, ороситель-

ных, трубчатых и др. В пластинчатых охладителях молоко охлаждается в тонком слое (2–4 мм), а температура его за несколько минут достигает 10°C с условием использования в качестве хладагента рассола с отрицательной температурой. При первичной обработке молока идеальной схемой является обработка свежесцеженного молока в потоке. Схема первичной обработки молока при доении в переносное ведро в комплекте с очисткой на центробежном молокоочистителе и охлаждением на пластинчатом охладителе представлена на рис. 1.1.

В процессе обработки парное молоко насосом 3 подается из фляги 2 в сепаратор-молокоочиститель 4, а далее через тонкослойный пластинчатый охладитель 5 в емкость 10 для доохлаждения и хранения.

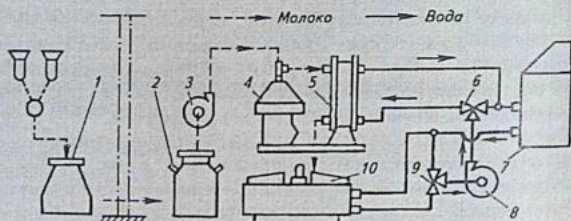


Рис. 1.1. Схема технологической линии первичной обработки молока при доении в переносное ведро:

1 – переносное ведро; 2 – фляга; 3 – молочный насос; 4 – сепаратор-молокоочиститель; 5 – пластинчатый охладитель; 6, 9 – трехходовые краны; 7 – водоохлаждающая установка; 8 – водяной насос; 10 – емкость для доохлаждения

При механизированном доении поступающее в молокопровод молоко немедленно охлаждается в потоке с помощью входящего в комплект оборудования вакуумного охладителя. Кроме того, можно использовать механизированные охладители, о которых говорилось ранее. Однако при использовании рассола температурой ниже -2°C существует опасность замерзания молока в аппарате при его циклической подаче из молокопровода и нарушения работы всей линии молокопровода. Поточная технологическая линия первичной обработки молока при доении в молокопровод изображена на рис. 1.2.

Молоко из доильных установок поступает в молокопровод 2, по которому транспортируется в молочный блок, где проходит через счетчик 3, молокосорбник-воздухоотделитель 4 и насосом 5 нагнета-

ется через фильтр 6 и пластинчатый охладитель 7 в емкость для доохлаждения 8.

Наиболее эффективным для сохранения молока хорошего качества является двухступенчатое охлаждение: первая ступень – охлаждение в потоке с доением, вторая ступень – доохлаждение при резервировании молока и его хранении.

Более глубокое охлаждение молока и хранение его при температурах 4–6 °С осуществляется в емкостях, представляющих собой двустенные аппараты с мешалками, межстенное пространство которых заполняется хладоносителем. С помощью трубопроводов емкость соединяют с водоохлаждающей установкой (емкости типа РПО, ТОМ, СМ с автономным или встроенным охлаждением) либо используют емкости с встроенным непосредственным охлаждением с использованием в качестве хладагента R12 и R22.

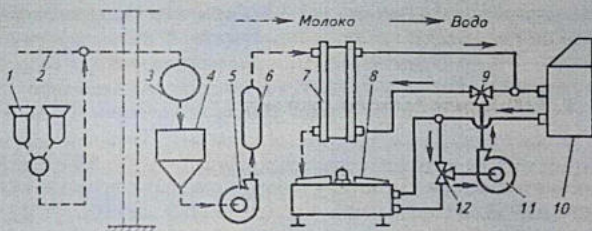


Рис. 1.2. Схема технологической линии первичной обработки молока при доении в молокопровод:

1 – доильный аппарат; 2 – молокопровод; 3 – счетчик молока; 4 – молокосорбник-воздухоохладитель; 5 – молочный насос; 6 – фильтр; 7 – пластинчатый охладитель; 8 – емкость для доохлаждения молока; 9, 12 – трехходовые краны; 10 – водоохлаждающая установка; 11 – водяной насос

Мешалка в емкости-охладителе работает непрерывно в ручном или автоматическом режиме во время циркуляции хладоносителя и полуавтоматической промывки емкости. Она заблокирована с крышками емкости – при поднятой или снятой крышке отключается электродвигатель мешалки. Охлаждение молока до установленной температуры, поддержание ее в этих пределах при хранении, а также непрерывное перемешивание в ходе охлаждения (в течение 3 мин через каждые 30 мин паузы) осуществляется автоматически.

Емкости-охладители целесообразнее использовать в комплексе с пластинчатой охладительной установкой, так как применение их для полного охлаждения молока сразу после доения приводит к значительному повышению бактериальной обсемененности. При длительном охлаждении в емкости с 36 до 10 °С количество бактерий в молоке возрастает в 2,8–4 раза. Для сохранения качества молока в процессе хранения более эффективно использовать закрытые емкости-охладители, так как в противном случае молоко приобретает запахи скотного двора, а также загрязняется механическими и биологическими веществами.

Кроме емкостей-охладителей для хранения молока применяют емкости-термосы, снабженные теплоизоляцией и стальным защитным кожухом. Теплоизоляция предотвращает повышение температуры молока более чем на 1 °С в течение 12 ч при разности температур молока и окружающей среды 20 °С.

Очистка молока на фермах сразу после доения с последующим охлаждением до температуры 6–8 °С обеспечивает сохранность качества молока при соответствующем хранении и транспортировании в течение 24 ч после доения.

1.7. Пороки сырого молока

Молоко и молочные продукты должны иметь определенные показатели состава и свойств, присущие нормальному молоку. Все отклонения от них при ухудшении качества или порче продукта называются пороками (дефектами). Их образованию способствуют следующие причины:

- изменение количественного состава компонентов молока; попадание и абсорбция посторонних веществ с сильными вкусовыми и ароматическими свойствами;
- изменения отдельных компонентов молока под воздействием физико-химических факторов (действие ферментов, кислорода воздуха, света, теплоты и др.);
- распад отдельных ингредиентов молока при одновременном образовании промежуточных и конечных продуктов с ярко выраженными ароматическими и вкусовыми свойствами;
- несоблюдение оптимальных условий развития полезной микрофлоры и технологии при производстве кисломолочных продуктов;
- нарушение режимов хранения (температуры, влажности воздуха, правил упаковки и др.).

Причинами возникновения пороков в сыром молоке являются зоотехнические и ветеринарные факторы, плохие санитарно-гигиенические условия получения молока на фермах, нарушение

режимов или условий первичной обработки, хранения и транспортирования молока.

Зоотехнические и ветеринарные факторы зачастую являются причинами возникновения многих пороков в сыром молоке. Так, неправильно составленные рационы кормления коров из трав или злаков, обладающих резким запахом и горьким вкусом, кормление животных непосредственно перед доением, осуществляемым в тех же помещениях, что и кормление, плохой ветеринарный контроль, в результате которого животные часто болеют, и другие причины приводят к возникновению неисправимых пороков в молоке. В результате из такого молока невозможно получить продукты высокого качества.

Ароматические и вкусовые вещества попадают в молоко двумя путями: при дыхании через легкие и с кормом через органы пищеварения или через желудочные газы. Кроме того, вкусовые и ароматические вещества могут образовываться из корма в процессе пищеварения. Так, бетаин некоторых сортов свеклы превращается в триметиламин, который придает молоку рыбный вкус.

Ароматические вещества могут абсорбироваться молоком из кормов низкого качества или воздуха помещения для доения (табл. 1.14).

1.14. Пороки сырого молока

Порок	Корма и сорняки	Зоотехнические и ветеринарные факторы
1	2	3
<i>Цвет</i>		
Выраженный желтый оттенок	Морковь, кукуруза, ревень, шафран, лук, календула	Молозиво. Яшур, желтуха, пироплазмоз, лептоспироз, перипневмония, клинический мастит
Розово-красноватый оттенок	Капуста кормовая, молочай, осока, камыш, хвощ обыкновенный, горчица полевая	Пироплазмоз, лептоспироз, сибирская язва
Голубовато-синий оттенок	Воловик, хвощ болотный, незабудка, люцерна, донник, гречиха	Клинический мастит, туберкулез молочной железы
<i>Консистенция</i>		
Вязкая (тягучая, густая, слизистая)	Капуста кормовая, гнилые и плесневелые корма, подлесник	Молозиво и стародойное молоко. Яшур, пневмония, расстройство пищеварения, клинический мастит, инфекционная желтуха

Продолжение таблицы 1.14

1	2	3
Пенящаяся	Избыточное количество картофеля	Конец лактации и стельности. Клинический мастит, расстройство пищеварения
Бродящая	Недоброкачественный силос, свекольная ботва	Расстройство пищеварения
Песочная	Корма, обедненные кальцием	Воспаление протоков молочной железы, нарушение обмена веществ
Водянистая	Свекольная ботва, замороженный картофель, жом, некачественные грубые корма	Наследственные факторы. Туберкулез молочной железы, клинический мастит, сибирская язва, расстройство пищеварения
Хлопьевидная (сладкое или сычужное свертывание)	Болотные травы, кислые и гнилые корма. Растительность заболоченных пастбищ	Конец сухостойного периода. Расстройство пищеварения, клинический, хронический мастит
<i>Запах и вкус</i>		
Затхлые, гниlostные, плесневелые	Затхлые, гниlostные и плесневелые корма	Использование в качестве подстилки плесневелых соломы и опилок. Поение недоброкачественной водой. Кетоз, ацетанемия
Специфические (с запахом лекарств, нефтепродуктов и др.)	Анис, тмин, укроп	Поение водой, загрязненной нефтепродуктами. Наличие в силосе смазочных масел. Ацетонурия. Неправильное использование медикаментов
Кислые	Кислые корма, недостаточное содержание в рационе кальция	
Травяные	Излишнее количество люцерны, силоса зерновых и травяных культур	
Силосные, бродильные (бродящая консистенция), фруктовые	Недоброкачественный силос	Антисанитарные условия содержания
Солодовые	Отходы производства плодово-ягодных соков, лежалые фрукты	

Продолжение таблицы 1.14

1	2	3
Слабый сладкий или горько-соленый вкус		Молозиво, стародойное молоко. Клинический мастит, туберкулез легких
Мыльные (бродящая, пенящая консистенция)	Полевой хвощ	Клинический мастит, туберкулез молочной железы
Горький (пенящая, бродящая консистенция) вкус	Зеленые капустные листья ботва свеклы, сырой картофель, листья ольхи, осины, дуба, редька, турнепс, плесневелая ячменная и овсяная солома, лютик, вика, горох,	Плесневелая и пыльная подстилка. Некачественная вода. Заболевания печени, желчного пузыря, пищеварительного тракта. Пироплазмоз, клинический мастит, яшур, эндометрит
Липолизные, прогорклые	Прогорклый жмых, куколь, растения болотных пастбищ	Чаще в осенне-зимний период. В конце лактации, особенно в стойловый период. Наследственные факторы. Расстройство пищеварения, нимфомания, клинический мастит
Окисленный (металлический, маслянистый, картонный, краски) вкус	Свскольная ботва, жом, незрелый силос, барда, меласса, сено люцерны, излишки концентратов, недостаток витамина С	Чаще в зимне-весенний период. Поение коров водой с большим содержанием оксидов железа. Начало лактации. Конец стойлового содержания. Наследственные факторы. Хронический мастит
Рыбные	Излишнее количество рыбной муки. Скармливание рыбы, сухой мелассы, листьев сахарной свеклы. Выпас на ржаном, ячменном, пшеничном пастбищах, заливных лугах	Поение водой с водорослями
Селечные	Меласса, силос из ботвы сахарной свеклы	
Нечистые, коровьи, хлевные	Силос, костреч люцерны и др.	Плохая вентиляция скотного двора. Несоблюдение правил кормления. Кетоз, ацетанемия, нарушение пищеварения

Сырое молоко во время доения коров, при первичной обработке, хранении и транспортировании подвергается вторичному микробному обсеменению, а также механическим, температурным и световым воздействиям, которые могут привести к ухудшению его качества и возникновению пороков.

Наиболее нежелательный порок сырого молока и сливок – липолизные вкус и запах, или прогорклость. Он появляется вследствие гидролиза свободных жирных кислот (СЖК) с короткими цепями: масляной, капроновой и каприновой. Гидролитическая прогорклость вызывается нативными и бактериальными липазами. Нативные липазы в свежесвыдоенном молоке не активны. Тем не менее, прогорклость сырого молока может наступить самопроизвольно после 24 ч холодильного хранения, так как начинают активизироваться бактериальные липазы. Характер и степень липолиза сырого молока или сливок зависят от многих факторов: содержания свободного жира, активности нативных липаз и фосфолипаз, обсемененности липазо- и фосфолипазоактивной микрофлорой, интенсивности механического воздействия, продолжительности и температуры хранения. Чем дольше хранится продукт, тем интенсивнее микробный липолиз, особенно в результате жизнедеятельности психротрофной микрофлоры.

Вследствие механического воздействия на молоко при доении, перекачивании, перемешивании повреждается оболочка жировых шариков, что ведет к изменению дисперсности молочного жира. Жировые шарики начинают слипаться – агрегировать. Ферменты оболочек (ксантиноксидаза, каталаза, липаза, протеиназа) десорбируют в плазму, что приводит к повышению их активности и ускорению порчи молока. Агрегация жировых шариков сопровождается увеличением количества свободного жира, который и подвергается в первую очередь воздействию активизированных нативных и микробных липаз. При этом образуются СЖК и продукты их превращений, ухудшающие вкус и запах молока. Ксантиноксидаза катализирует окисление многих альдегидов до кислот, что может вызвать появление индуцированного окисленного вкуса, а каталаза – окисление пероксидами ненасыщенных жирных кислот до спиртов.

Холодное сырое молоко (5 °С) более устойчиво к механическим воздействиям, чем теплое. Но при продолжительном хранении молока целостность структуры оболочек жировых шариков нарушается, а мицеллы казеина распадаются на субмицеллы, начинаются липолиз и протеолиз и возникают пороки вкуса: соответственно – «прогорклый» и «горький».

Нежелательные привкусы (картонный, металлический, олений, салостый, рыбный), объединенные общим термином «окисленный

вкус», вызываемые окислением ненасыщенных жирных кислот молочного жира: арахидоновой, линоленовой, линолевой и их изомеров. На первой стадии под действием кислорода воздуха или света в молоке образуются гидропероксиды и пероксиды, которые не изменяют вкус жира, но могут обладать токсичностью, способствовать разрушению жирорастворимых витаминов и полиненасыщенных жирных кислот и образовывать с аминокислотами и белками плохо усваиваемые организмом комплексные соединения, снижая таким образом пищевую и биологическую ценность молока и молочных продуктов. На второй стадии окисления молочного жира появляются кислоты, альдегиды, кетоны, спирты и углеводороды, которые изменяют вкус молока.

В результате проявления активности нативных и микробных ферментов в молоке происходит брожение лактозы, из-за чего оно приобретает кислый вкус и запах. Кислый вкус появляется в молоке при накоплении определенного количества молочной кислоты. Кислый запах в молоке формируют уксусная, пропионовая и муравьиная летучие кислоты, этаналь, ацетон, диацетил. Считают, что кислый запах появляется прежде, чем молоко приобретает кислый вкус. При длительном хранении в условиях повышенной кислотности молоко приобретает хлопьевидную консистенцию из-за свернувшегося белка. Неоднородную консистенцию имеет также долго хранившееся молоко из-за плохо перемешивающегося отвердевшего жира. Отстоявшийся жир отличается плотной консистенцией и при перемешивании разбивается на комочки.

Вследствие протеолиза в молоке накапливаются протеозопептонные фракции, пептиды (в том числе и обладающие горьким вкусом) и свободные аминокислоты (САК). Белки и САК молока частично тормозят окисление липидов, что в какой-то мере предотвращает развитие окисленного вкуса и запаха. Это происходит в результате образования комплексов белков с металлами и отдельных САК с СЖК.

В процессе хранения сырого молока САК подвергаются изменениям, что приводит к ухудшению органолептических показателей. В частности, в результате фотолиза (воздействия солнечного, люминесцентного, флуоресцентного излучений и рассеянного дневного света) молоко приобретает «солнечный» вкус. Этот порок проявляется из-за окисления серосодержащих аминокислот (в основном метионина, реже гистидина, тирозина, триптофана, лизина) в присутствии рибофлавина с образованием альдегида – метионала. «Солнечный» вкус – сладковатый, его иногда называют капустным, репным, картофельным.

При ферментативном дезаминировании САК образуются кето- и оксикарбоновые кислоты, аммиак, альдегиды; при ферментативном декарбоксилировании образуются амины, аммиак, альдегиды, CO_2 . И те, и другие продукты превращений САК придают молоку

посторонние неприятные, в том числе и солодовые, вкус и запах. Вкус и запах молока и сливок могут меняться в результате абсорбирования летучих соединений из окружающей среды, загрязнения молока остатками моющих и дезинфицирующих средств при транспортировании его в таре, использованной ранее для перевозки моющих и дезинфицирующих средств, пестицидов и т. д., или в машинах вместе с нефтепродуктами. Подробно причины, вызывающие различные пороки в молоке, показаны в табл. 1.15.

1.15. Пороки сырого молока, вызванные нарушениями при получении, первичной обработке, хранении и транспортировании

Порок	Санитарно-гигиенические условия доения, фальсификация молока	Условия хранения и транспортирования	Микрофлора
1	2	3	4
<i>Цвет</i>			
Выраженный желтый оттенок			Культуры родов <i>Pseudomonas</i> (<i>Ps. fluorescens</i> , <i>Ps. putida</i> , <i>Ps. synxantha</i> , <i>Ps. aeruginosa</i>), <i>Mycobacterium</i> , некоторые виды дрожжей и плесневых грибов
Розово-красный оттенок	Примесь крови при механическом повреждении сосков молочной железы из-за нарушения работы доильной установки		Культуры родов <i>Brevibacterium</i> , <i>Torula glutinis</i> , <i>Sarcina rosca</i> , <i>Serratia marcescens</i> и некоторые виды плесневых грибов
Голубовато-синий оттенок	Попадание воды в молоко при несоблюдении правил эксплуатации доильных установок или при хранении в емкости. Прямая фальсификация молока водой или частичное обезжиривание молока		<i>Streptomyces cyanogenus</i> , <i>Str. cyanoflavus</i> , <i>Str. indigocolor</i> , некоторые виды дрожжей и плесневых грибов

Продолжение таблицы 1.15

1	2	3	4
<i>Консистенция</i>			
Вязкая (тягучая, густая, слизистая)			Бактерии группы кишечной палочки, некоторые виды микрококков и бацилл, <i>Alcaligenes viscolatus</i> , <i>Alc. viscoccus</i> , <i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>cremoris</i>
Пенящаяся		Хранение молока в замороженном состоянии	Бактерии группы кишечной палочки, дрожжи, маслянокислые бактерии
Пенящаяся	Попадание в молоко воды при несоблюдении правил эксплуатации доильных установок или хранения в емкости. Прямая фальсификация молока водой или частичное обезжиривание молока	Неправильное оттаивание замороженного молока	
Неоднородная (в том числе хлопьевидная)		Длительное хранение молока, особенно при повышенной температуре. Транспортирование при неполном заполнении транспортной емкости	
<i>Запах и вкус</i>			
Затхлые, гнилостные, плесневелые, кислые, солодовые, нечистые, коровьи, хлевные	Нарушение санитарно-гигиенических условий, недоброкачественная мойка и дезинфекция	Длительное хранение свежесвыдоженного или недостаточно охлажденного молока в плотно закрытой емкости или	Маслянокислые, гнилостные и молочно-кислые бактерии (для кислого вкуса); <i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i> (biovar <i>maltigenes</i>), <i>Lactobacillus maltaromicus</i>

Продолжение таблицы 1.15

1	2	3	4
		в плохо проветриваемом помещении	(для солодового) и не которые другие представители родов <i>Pseudomonas</i> , <i>Enterobacter aerogenes</i> (для нечистых, коровьих, хлевных)
Лекарственные, нефтепродуктов, кошачий и другие специфические	Смазывание сосков молочной железы солидолом. Недостаточный смыв моющих и дезинфицирующих средств	Воздушный контакт молока с йодоформом, хлорной известью, креолином, карболовой кислотой, скипидаром, лаком, нефтепродуктами	
Фруктовые		Длительное хранение охлажденного молока (8–10 °C)	<i>Pseudomonas fragi</i> , дрожжи, ароматобразующие бактерии, некоторые спорообразующие бациллы
Рыбные		Хранение молока рядом с рыбой	
Слабый сладкий или горько-соленый вкус	Смешивание молока, стародойного или маститного молока с нормальным молоком	Попадание рассола в охлаждаемые емкости для хранения молока	
Мыльные, аммиачные Содовый вкус	Недостаточный смыв моющих средств. Прямая фальсификация молока содой, гидропероксидом аммония	Хранение свежесвыдоенного молока в закрытой емкости	<i>Bacterium lactis saponacei</i>
Липолизные, прогорклые	См. «Слабый или горько-соленый вкус». Всасывание воздуха из-за неправильной конструкции и монтажа доильной	Длительное хранение охлажденного молока (< 8 °C). Частое перемешивание и перекачивание. Большая скорость	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Corynebacterium, Serratia marcenscens</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. mesentericus</i> , <i>Micrococcus pyogenes</i>

Продолжение таблицы 1.15

1	2	3	4
	установки. Смешивание небольшого количества молока с большим количеством воздуха. Турбулентный поток молока	потока молока при заполнении резервуаров. Смешивание холодного молока с теплым и дальнейшее охлаждение смеси. Частичное сбивание жира при неполном заполнении транспортной емкости	
Окисленный «солнечный» вкус	См. «Липолизные, прогорклые». Наличие медных деталей в системе подачи воды	См. «Липолизные прогорклые». Хранение молока в нелуженой (железной или медной) таре. Воздействие на молоко солнечного или другого вида освещения. Высокое содержание меди и железа в промывной воде	Некоторые флуоресцирующие бактерии, <i>Escherichia freundii</i>
Горький вкус		Длительное хранение охлажденного молока (более 2 сут)	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Ps. fragii</i> , <i>Ps. trifolii</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. cereus</i> , <i>Proteus vulgaris</i> и некоторые другие микрококки
Дымные, кошачьи		Хранение молока в открытой емкости в дымном помещении. Хранение молока с кетонсодержащими красками и лаками	

Для предотвращения появления пороков в молоке необходимо обеспечить максимальную бактериальную чистоту при его получении на ферме. Использование дезинфицирующих средств при обработке вымени приводит к снижению количества бактерий в молоке в 30 раз. Мойка и дезинфекция инвентаря и оборудования снижают

бактериальное обсеменение в 9–10 тысяч раз. Кроме того, при длительном хранении сырого молока для подавления жизнедеятельности психротрофных бактерий, которые являются одними из основных продуцентов липаз и протеаз, его охлаждают до 4–5 °С или ниже, либо подвергают термизации с последующим охлаждением.

Зная причины, вызывающие порчу молока и снижение его качества, необходимо соблюдать следующие правила:

- поддерживать санитарно-гигиенические условия при получении, первичной обработке, хранении и транспортировании молока и сливок;
- своевременно проводить первичную обработку молока;
- соблюдать правила эксплуатации, мойки и дезинфекции молочного оборудования;
- не допускать смешивания нормального молока с молозивом и стародойным молоком, а также разбавления молока водой и замораживания;
- не допускать продолжительного хранения молока, особенно недостаточно охлажденного;
- кормить коров за 4–5 часов до доения или сразу после него;
- контролировать качество воды для поения, правильно подбирать кормовые рационы, не использовать некачественные корма;
- своевременно проводить профилактические мероприятия по предупреждению и лечению заболеваний коров;
- не допускать интенсивного длительного перемешивания и перекачивания парного молока, смешивания его с холодным молоком, а также периодического нагревания и охлаждения молока;
- не подвергать молоко длительному световому воздействию; не транспортировать молоко в неполных цистернах.

Для устранения пороков запаха и вкуса сливок нередко прибегают к следующей операции. Сливки разбавляют до массовой доли жира 5–8% водой, подогретой до температуры 45–50 °С, и сепарируют. Полученные в результате сепарирования сливки разбавляют обезжиренным молоком, доводя массовую долю жира до 5–8%, и снова сепарируют. При недостаточном эффекте обработку повторяют.

Для предотвращения порчи молока при невозможности или нежелательности его охлаждения в редких случаях можно применять химические вещества, проявляющие бактерицидные свойства, адсорбенты, антиоксиданты и пр. Пероксид водорода в смеси с каталазой или тиоцианатом, а также глюкозооксидаза в смеси с глюкозой и тиоцианатом обладают бактерицидными свойствами и при добавлении к молоку приводят к снижению общей бактериальной обсеме-

ненности, степени выраженности липолиза, протеолиза, гликолиза и соответствующих им пороков. Тот же эффект достигается при пропуске через молоко таких газов, как азот и углекислый газ.

Низин добавляют в молоко для избежания порчи при транспортировании на большие расстояния. В качестве адсорбентов для снижения развития липолиза и соответствующих ему пороков в молоко можно добавлять лецитин, активный уголь, λ -карраген и др. Для предотвращения или снижения окислительной порчи липидов в молоко можно добавлять естественные или синтетические антиоксиданты или их синергисты. К наиболее активным антиоксидантам относятся токоферолы, к менее активным — аскорбиновая кислота, фосфолипиды, трипсин и др. Из синтетических антиоксидантов наиболее активными являются пропилгаллат, лаурилгаллат, кверцетин и др.

1.8. Приемка молока на заводе

Молоко на молочный завод доставляют специализированным транспортом: автомобильным (чаще всего), железнодорожным, водным. В качестве транспорта используют рефрижераторы, машины с изотермическими кузовами или молочные цистерны. Молоко и сливки можно доставлять на завод во флягах.

Автомолцистерны, предназначенные для перевозки молока, изготавливают из листового алюминия и нержавеющей стали, они состоят из одной, двух или четырех секций. Для того, чтобы молоко не нагревалось во время транспортирования, наружная поверхность цистерны покрыта термоизоляционным материалом и облицована кожухом из тонкого стального листа. Конечную температуру молока при транспортировании можно определить по формуле:

$$t_k = (2kF\tau; (t_c - t_n) + 2M_m C_m t_n) / (2M_m C_m + kF\tau),$$

где k — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°C); F — площадь теплопередачи, м²; τ — продолжительность, с; t_c , t_n — соответственно, температура окружающей среды и начальная температура молока, °C; M_m — масса молока, кг; C_m — теплоемкость молока, Дж/(кг·°C).

Коэффициент теплопередачи для автомолцистерны равен 1,2–2 Вт/(м²·°C), для молочных цистерн железнодорожного и водного транспорта — 0,65–1,2 Вт/(м²·°C).

Молоко кислотностью не более 18 °Т, охлажденное до 4 °C, может храниться до отправки на молокоперерабатывающий завод не более 6 ч, а охлажденное до 6 °C — не более 4 ч. При длительности транспортирования молока до 10 ч оно должно отгружаться с температурой

не выше 6 °С; при длительности транспортирования молока до 16 ч оно должно быть охлаждено на ферме до температуры не выше 4 °С.

Каждая секция автомолцистерны снабжена люком, герметически закрывающимся крышкой с помощью уплотнительной кольцевой резиновой прокладки. Цистерна заполняется молоком под вакуумом, причем наполнение лучше осуществлять снизу во избежание вспенивания молока. Наполнение цистерны молоком контролируется системой сигнализации: сигнал о заполнении секции молоком поступает от датчиков верхнего уровня молока, расположенных в верхней части цистерны.

Слив молока из автомолцистерны при приемке на заводе осуществляется самотеком или с помощью заводского насоса. Специализированный транспорт для перевозки молока должен быть чистым, в исправном состоянии; кузов машины должен иметь гигиеническое покрытие, легко поддающееся мойке. Специализированный транспорт должен иметь санитарный паспорт, выдаваемый территориальными центрами Госсанэпиднадзора на каждую машину сроком не более чем на 6 мес. Машина без санитарного паспорта на территорию предприятия не допускается. Транспорт должен быть осмотрен и разрешен к погрузке ответственным от завода по контролю за состоянием транспорта. Нельзя допускать использование транспорта, предназначенного для перевозки молока, под перевозку других продуктов, ядохимикатов или сильно пахнущих веществ.

Шофер-экспедитор должен иметь при себе личную медицинскую книжку с отметками о прохождении медицинских осмотров, спецодежду, соблюдать правила личной гигиены и правила транспортирования молочных продуктов.

После приемки молока проводят санитарную обработку автомолцистерн и фляг в следующей последовательности: ополаскивание водой для удаления остатков молока или сливок, мойка моющими растворами, ополаскивание водой для удаления остатков моющих средств, обработка дезинфицирующими растворами и ополаскивание водой для удаления их остатков. Вместо дезинфекции иногда используют стерилизацию. Внутреннюю поверхность цистерны промывают горячей водой (90–95 °С) в течение 5–7 мин или обрабатывают острым паром при давлении 1,5 МПа в течение 2–3 мин.

На молокоперерабатывающем предприятии молоко принимают по массе m (кг) или объему V (м³). Объемные единицы пересчитывают в массовые по формуле:

$$m = V\rho,$$

где ρ – плотность молока, кг/м³.

Массу молока с фактической массовой долей жира при приемке пересчитывают в массу молока с базисной массовой долей жира. Формула пересчета следующая:

$$m_b = m_f \cdot \text{ж}_b / \text{ж}_f,$$

где m_b , m_f — масса молока, соответственно, с базисной и фактической массовой долей жира; ж_b , ж_f — соответственно, фактическая и базисная массовая доля жира.

Приемные отделения молочных предприятий должны быть оснащены специальными платформами (постами приемки) для обслуживания автомолцистерн, а также оборудованием для мойки автомолцистерн и фляг. Необходимо предусматривать несколько линий приемки молока (насосы, охладители, оборудование для учета и хранения), чтобы исключить возможность смешивания различных по качеству партий молока.

Для учета принимаемого молока применяют следующее оборудование: молокомеры — поплавковые и резервуарные; весы — тензометрические, шкальные, гирные, циферблатные; счетчики — шестеренные и с кольцевым поршнем; расходомеры — индукционные и турбинные.

Молоко и сливки, принимаемые в качестве сырья в сыром или пастеризованном виде, должны отвечать требованиям действующих нормативных документов по органолептическим, физико-химическим и санитарно-гигиеническим показателям. Вспомогательное сырье и материалы при приемке на предприятии также должны отвечать требованиям соответствующих ГОСТов и технических условий. Предприятия не должны принимать молоко без справок о ветеринарно-санитарном благополучии молочных ферм и молочных комплексов, предоставляемых органами ветеринарного надзора ежемесячно, а индивидуальными сдатчиками — не реже 1 раза в квартал.

Молоко из хозяйств, неблагополучных по заболеваниям животных бруцеллезом и туберкулезом, должно приниматься в обезвреженном виде, в соответствии с Санитарными и ветеринарными правилами для молочных ферм, колхозов и совхозов и инструкциями ветеринарной службы при наличии специального разрешения органов ветеринарного и санитарно-эпидемиологического надзора.

В товарно-транспортной накладной на молоко или сливки из хозяйств, неблагополучных по заболеваниям животных, должна быть отметка «пастеризованное» и указана температура тепловой обработки. Каждая партия молока или сливок из таких хозяйств проверяется заводской лабораторией на эффективность пастеризации химическим методом и может быть принята только после получения отрицательной

реакции на пероксидазу. Ассортимент вырабатываемой из этого сырья продукции должен быть согласован с органами Госсанэпиднадзора.

Молоко для производства детских молочных продуктов должно поставляться со специально выделенных ферм по согласованию с органами ветеринарного и Госсанэпиднадзора и соответствовать требованиям ГОСТ 52054-2003 к молоку высшего и первого сортов.

Пастеризацию молока на предприятии после приемки осуществляют в случае необходимости хранения его до переработки более 6 ч.

Непосредственно перед приемкой молока молочные шланги и штуцера молочных цистерн должны быть продезинфицированы и ополоснуты питьевой водой. После окончания приемки молока шланги должны быть промыты, продезинфицированы, закрыты заглушкой или водонепроницаемым чехлом и подвешены на кронштейны.

Молоко и сливки на молочном предприятии принимает приемщик или мастер с участием лаборанта и в присутствии представителя поставщика. Основным документом при приемке является сопроводительная накладная, в которой указаны масса принимаемого молока, массовая доля жира, кислотность, температура, а также число фляг, если молоко доставлено во флягах.

Приемка молока начинается с визуального осмотра тары или транспорта. Проверяется чистота тары и транспорта, целостность пломб, наличие резиновых колец в крышках фляг и заглушек на патрубках молочных цистерн. Тару или специализированный транспорт подвергают санитарной обработке, как указано выше. Затем снимают пломбы, тщательно перемешивают молоко во фляге или цистерне и отбирают пробы молока, согласно ГОСТу, для исследования показателей на соответствие требованиям к молоку коровьему натуральному – сырому.

Снятие пломб, органолептическую оценку и сортировку молока производит приемщик или мастер. Отбор проб, измерение температуры и проведение физико-химических исследований выполняет лаборант. Температуру молока измеряют в каждой секции автомолцистерны и выборочно (2–3 места из каждой партии) – во флягах. Посуда с пробой молока должна иметь наклеенную этикетку с указанием даты поступления и наименования поставщика. Пробу молока необходимо хранить до конца исследований. Результаты исследований принимаемого молока записывают в специальный журнал, хранящийся в лаборатории предприятия. В сертификате соответствия указывают наименование и сорт продукта, объем партии, данные результатов испытаний (массовую долю жира, плотность, кислотность, чистоту, температуру), номер и дату выдачи ветеринарного свидетельства (справки), обозначение стандарта (ГОСТ 52054-2003).

1.9. Оценка соответствия молока и продуктов его переработки требованиям Федерального закона №88-ФЗ

Оценка соответствия молока и продуктов его переработки, а также процессов их производства установленным настоящим Федеральным законом обязательным требованиям к этим продуктам осуществляется в форме государственного контроля (надзора) за выполнением указанных обязательных требований и в форме подтверждения соответствия молока и продуктов его переработки установленным требованиям.

Оценка соответствия молока и продуктов его переработки, а также процессов их производства в форме государственного контроля (надзора) осуществляется федеральным органом исполнительной власти, выполняющим функции по контролю и надзору в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, защиты прав потребителей; федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по контролю и надзору в сфере ветеринарии; органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, уполномоченными на проведение государственного контроля (надзора) в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, защиты прав потребителей, в сфере ветеринарии.

В случае выявления нарушений требований настоящего Федерального закона федеральные органы исполнительной власти, осуществляющие функции по контролю и надзору, вправе:

- 1) выносить предписания об устранении нарушений и устанавливать обоснованный с учетом характера нарушений срок для исполнения предписаний;
- 2) принимать предусмотренные законодательством Российской Федерации меры в целях недопущения причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений;
- 3) направлять в органы, выдавшие сертификат соответствия, или органы, зарегистрировавшие декларацию о соответствии, информацию о необходимости приостановления или прекращения действия декларации о соответствии или сертификата соответствия;
- 4) привлекать изготовителя (продавца, лицо, выполняющее функции иностранного изготовителя) к ответственности, предусмотренной законодательством Российской Федерации;

5) принимать решение об обращении в суд с иском о принудительном отзыве молока и продуктов его переработки, не соответствующих требованиям настоящего Федерального закона.

Не допускается требовать от изготовителя (продавца) иные документы для оценки соответствия или для подтверждения соответствия молока и продуктов его переработки требованиям настоящего Федерального закона, за исключением документов, указанных в статьях 31 и 32 настоящего Федерального закона.

Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований настоящего Федерального закона осуществляется:

1) в отношении процессов производства, хранения, перевозки, реализации и утилизации сырого молока, сырых сливок и продуктов переработки молока непромышленного производства – федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по контролю и надзору в сфере ветеринарии, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, уполномоченными на проведение государственного контроля (надзора) в сфере ветеринарии;

2) в отношении процессов производства, хранения, перевозки, реализации и утилизации молока и продуктов его переработки, предназначенных для употребления в пищу (на стадии приемки, ввода в эксплуатацию объектов производства, периодической проверки выполнения изготовителем (продавцом, лицом, выполняющим функции иностранного изготовителя) требований настоящего Федерального закона и программы мероприятий по предотвращению причинения вреда), – федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по контролю и надзору в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, защиты прав потребителей;

3) в отношении молока и продуктов его переработки на стадии их обращения в случае признания достоверности информации о несоответствии этих продуктов требованиям настоящего Федерального закона на стадии их производства – федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по контролю и надзору в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, защиты прав потребителей, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, уполномоченными на проведение государственного контроля (надзора) в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, защиты прав потребителей.

1.10. Подтверждение соответствия молока и продуктов его переработки требованиям Федерального закона №88-ФЗ

1.10.1. Формы подтверждения соответствия молока и продуктов его переработки требованиям Федерального закона №88-ФЗ

Молоко и продукты его переработки, реализуемые на территории Российской Федерации, подлежат обязательному подтверждению соответствия требованиям данного Федерального закона в форме принятия декларации о соответствии (далее – декларирование соответствия) или обязательной сертификации по схемам, установленным данным Федеральным законом.

Не подлежат обязательному подтверждению соответствия в форме декларирования соответствия или сертификации вторичное молочное сырье и побочные продукты переработки молока, не предназначенные для употребления в пищу.

Наряду с другими доказательствами соответствия молока и продуктов его переработки требованиям данного Федерального закона при подтверждении такого соответствия может использоваться в качестве одного из доказательств соблюдение требований международных стандартов и (или) национальных стандартов, содержащих аналогичные требования.

Добровольное подтверждение соответствия требованиям национальных стандартов, стандартам организаций, сводам правил, системам добровольной сертификации и условиям договоров молока и продуктов его переработки, процессов их производства, хранения, перевозки, реализации и утилизации осуществляется по инициативе заявителя в форме добровольной сертификации.

Добровольная сертификация молока и продуктов его переработки, процессов их производства, хранения, перевозки, реализации и утилизации осуществляется на условиях договора между заявителем и органом по сертификации.

Добровольное подтверждение соответствия молока и продуктов его переработки, процессов их производства, хранения, перевозки, реализации и утилизации не может заменить обязательное подтверждение их соответствия требованиям данного Федерального закона.

1.10.2. Права и обязанности заявителя при подтверждении соответствия молока и продуктов его переработки требованиям Федерального закона №88-ФЗ

При декларировании соответствия молока и продуктов его переработки установленным требованиям заявителем может быть юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, зарегистрированные в соответствии с законодательством Российской Федерации, являющиеся изготовителем или продавцом либо выполняющие функции иностранного изготовителя на основании договора с ним, в части обеспечения соответствия поставляемых молока и продуктов его переработки требованиям названного Федерального закона и в части ответственности за несоответствие молока и продуктов его переработки требованиям названного Федерального закона.

При подтверждении соответствия молока и продуктов его переработки требованиям настоящего Федерального закона в форме сертификации заявителями могут быть лица, указанные выше, а также иностранные юридические лица и физические лица, принявшие на себя обязательства в части обеспечения соответствия поставляемых молока и продуктов его переработки требованиям данного Федерального закона и в части ответственности за несоответствие молока и продуктов его переработки, поставляемых по договорам, оформленным в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, требованиям данного Федерального закона.

Заявитель вправе выбирать форму подтверждения соответствия и схему подтверждения соответствия, предусмотренные для молока и продуктов его переработки настоящим Федеральным законом.

Заявитель обязан обеспечивать соответствие молока и продуктов его переработки требованиям данного Федерального закона.

Заявитель может иметь другие предусмотренные законодательством Российской Федерации права и обязанности.

1.10.3. Обязательное подтверждение соответствия молока и продуктов его переработки в форме декларирования соответствия

Декларирование соответствия молока и продуктов его переработки установленным требованиям осуществляется путем принятия декларации о соответствии на основании собственных доказательств и (или) на основании доказательств, полученных с участием органа по сертификации и (или) аккредитованной испытательной лаборатории (центра) (далее – третья сторона).

При декларировании соответствия партии сырого молока или сырых сливок, реализуемых по долгосрочным договорам поставок продукции или контрактам, срок действия декларации о соответствии составляет не более чем один год.

При декларировании соответствия партии молока или продуктов его переработки срок действия декларации о соответствии должен соответствовать сроку годности этих продуктов.

При декларировании соответствия продуктов переработки молока, выпускаемых серийно, срок действия такой декларации о соответствии составляет не более чем пять лет.

Декларация о соответствии может приниматься в отношении партии молока или партии однородной молочной продукции, к которым установлены подлежащие подтверждению единые требования.

Для подтверждения соответствия молока и молочной продукции требованиям данного Федерального закона устанавливаются следующие схемы декларирования соответствия:

1) 2д – декларирование соответствия молока или молочной продукции на основании собственных доказательств и положительных результатов исследований (испытаний) типовых образцов молока или продуктов его переработки, полученных с участием третьей стороны;

2) 3д – декларирование соответствия молока или продуктов его переработки на основании положительных результатов исследований (испытаний) типовых образцов этих продуктов, полученных с участием третьей стороны, и сертификата системы качества на стадии производства этих продуктов;

3) 4д – декларирование соответствия молока или продуктов его переработки на основании положительных результатов исследований (испытаний) типовых образцов этих продуктов, полученных с участием третьей стороны, и сертификата системы качества на стадии контроля и испытаний этих продуктов;

4) 5д – декларирование соответствия партии молока или продуктов его переработки на основании положительных результатов исследований (испытаний), полученных путем репрезентативной выборки образцов из партии этих продуктов с участием третьей стороны;

5) 7д – декларирование соответствия молока или продуктов его переработки на основании положительных результатов исследований (испытаний) типовых образцов этих продуктов, проведенных собственными силами или с привлечением других организаций по поручению заявителя, и сертификата системы качества на стадии проектирования и производства этих продуктов.

При выборе любой схемы декларирования соответствия молока или продуктов его переработки заявитель формирует следующий комплект документов.

Регистрационные документы и реквизиты заявителя.

Наименование, общее описание и назначение (при наличии назначения) этих продуктов.

Национальный стандарт или стандарты организаций на молоко или продукты его переработки (для российских изготовителей) либо международный стандарт или подробное описание этих продуктов с указанием их основных свойств, условий хранения, сроков годности (для иностранных изготовителей), применяемые на добровольной основе в целях обеспечения соблюдения требований данного Федерального закона.

Протоколы исследований (испытаний) и измерений типовых образцов молока или продуктов его переработки, проведенных в аккредитованной испытательной лаборатории (центре) при декларировании соответствия этих продуктов требованиям настоящего Федерального закона по схемам 2д, 3д, 4д, либо протоколы исследований (испытаний) и измерений, полученных путем репрезентативной выборки образцов молока или продуктов его переработки в аккредитованной испытательной лаборатории (центре) при декларировании соответствия этих продуктов требованиям данного Федерального закона по схеме 5д, либо протоколы исследований (испытаний) и измерений типовых образцов этих продуктов, проведенных собственными силами или с привлечением других организаций по поручению заявителя при декларировании соответствия этих продуктов требованиям данного Федерального закона по схеме 7д.

Сертификат системы качества на стадии производства молока или продуктов его переработки при декларировании соответствия этих продуктов по схеме 3д.

Сертификат системы качества на стадии контроля и исследований (испытаний) и измерений молока или продуктов его переработки при декларировании соответствия этих продуктов по схеме 4д.

Сертификат системы качества на стадии проектирования (разработки) и производства продуктов переработки молока при декларировании соответствия этих продуктов по схеме 7д.

Документы, подтверждающие организацию и осуществление производственного контроля заявителем, а также организацию и осуществление государственного контроля в отношении заявителя, молока и продуктов его переработки федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по контролю (надзору) в сфере

обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, защиты прав потребителей, при использовании любой схемы декларирования соответствия этих продуктов, за исключением схемы 5д.

Товарно-транспортные документы, договоры (контракты) поставок молока или продуктов его переработки, оформленные в установленном законодательством Российской Федерации порядке, сертификат происхождения этих продуктов, гигиенический сертификат, свидетельство о государственной регистрации впервые разработанных или впервые ввозимых (поставляемых) продуктов переработки молока для подтверждения соответствия этих продуктов требованиям данного Федерального закона при использовании схемы 5д.

Ветеринарные свидетельства или сертификаты установленной формы для подтверждения соответствия сырого молока или сырых сливок требованиям настоящего Федерального закона.

Протоколы исследований (испытаний) и измерений типовых образцов или репрезентативной выборки образцов молока или продуктов его переработки наряду с характеристикой этих продуктов должны содержать:

1) описание молока или продуктов его переработки непосредственно, либо в виде ссылки на национальные стандарты, стандарты организаций или международные стандарты, в соответствии с которыми они произведены;

2) заключение о соответствии типовых образцов или репрезентативной выборки образцов молока или продуктов переработки молока требованиям указанных в пункте 3 части 7 настоящей статьи документов, в соответствии с которыми произведены эти продукты, и требованиям настоящего Федерального закона;

3) результаты исследований (испытаний) типовых образцов или репрезентативной выборки образцов молока или продуктов переработки молока, полученные собственными силами, с привлечением третьей стороны и (или) при подтверждении соответствия этих продуктов требованиям данного Федерального закона по схеме 7д другой организацией по поручению заявителя.

При выборе схемы декларирования соответствия, предусматривающей наличие сертификата системы качества, и при отсутствии такого сертификата заявитель подает в орган по сертификации системы качества заявку на сертификацию системы качества. Орган по сертификации осуществляет сертификацию системы качества и при положительных результатах выдает заявителю сертификат системы качества.

При выборе любой схемы декларирования соответствия заявитель принимает необходимые меры для обеспечения при производ-

стве и реализации молока и продуктов его переработки их соответствия требованиям данного Федерального закона.

Заявитель принимает декларацию о соответствии, регистрирует ее в установленном законодательством Российской Федерации порядке.

Заявитель маркирует молоко и продукты его переработки, в отношении которых принята декларация о соответствии, знаком обращения на рынке.

Орган по сертификации систем качества осуществляет контроль за сертифицированной системой качества на стадиях, предусмотренных схемами 3д, 4д, 7д, с периодичностью, установленной договором между заявителем и органом по сертификации систем качества, но не реже чем один раз в год.

Декларация о соответствии и входящие в состав доказательственных материалов документы хранятся у заявителя в течение трех лет со дня окончания срока действия декларации о соответствии. Второй экземпляр декларации о соответствии хранится в федеральном органе исполнительной власти, организующем формирование и ведение единого реестра деклараций о соответствии.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите виды молочного сырья, предназначенные для переработки в молочные продукты. Что обуславливает пищевую, биологическую и энергетическую ценность молочного сырья?
2. Дайте сравнительную характеристику состава цельного молока, сливок, обезжиренного молока, пахты и молочной сыворотки.
3. Дайте сравнительную характеристику физико-химических свойств цельного молока, сливок, обезжиренного молока, пахты и молочной сыворотки.
4. Перечислите функции и охарактеризуйте роль воды в молоке.
5. Дайте характеристику казеину (строение, функции, технологические свойства).
6. Дайте характеристику сывороточным белкам (строение, функции, свойства).
7. Какие жирные кислоты входят в состав молочного жира?
8. Какие свойства молочного жира, насыщенных и ненасыщенных жирных кислот играют важную роль в производстве молочных продуктов?
9. Какие вещества сопутствуют молочному жиру? Перечислите их функции и свойства.
10. Какова роль оболочки жировых шариков в стабильности жировой эмульсии?

11. Опишите строение, функции и свойства углеводов молока.
12. Какова роль минеральных веществ в стабильности коллоидной системы молока?
13. Какова роль ферментов молока в производстве молочных продуктов, а также при хранении молока и молочных продуктов?
14. Какие витамины присутствуют в молоке? Какова их роль в пищевой и биологической ценности молока и молочных продуктов?
15. Какими посторонними веществами может быть загрязнено молоко? Каким образом они туда попадают и какую опасность представляют, находясь в молоке?
16. Охарактеризуйте микрофлору сырого молока.
17. Какова роль органолептических и технологических свойств молока при производстве молока и молочных продуктов? Как изменяются эти свойства в зависимости от различных факторов?
18. Как изменяются состав и физико-химические свойства молока под влиянием различных факторов?
19. Какие требования предъявляют к молоку, предназначенному для производства молочных продуктов?
20. Что влияет на качество молока при его получении?
21. От каких факторов зависит продолжительность бактерицидной фазы молока?
22. Какова цель фильтрования молока сразу после доения? Назовите способы фильтрования, опишите фильтрующие материалы и их свойства, недостатки и преимущества.
23. Дайте характеристику схемам первичной обработки молока в потоке с доением различными способами.
24. Какие причины приводят к порче молока и сливок?
25. Назовите зоотехнические и ветеринарные факторы появления пороков в молоке и сливках.
26. Какие меры необходимо предпринимать для предотвращения появления пороков в молоке и сливках?
27. Как проводится оценка соответствия молока и продуктов его переработки в соответствии с Федеральным законом №88-ФЗ?
28. Назовите формы подтверждения соответствия молока и продуктов его переработки требованиям названного Федерального закона.
29. Как подтверждается соответствие молока и продуктов его переработки установленным требованиям согласно ФЗ №88?

Глава 2. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МОЛОКА И МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

2.1. Виды и устройство сепараторов

Сепарирование – это процесс разделения полидисперсной или многокомпонентной жидкостной системы под действием центробежной силы. По технологическому назначению в молочной промышленности сепарирование применяется для центробежной очистки молока от механических и микробиологических примесей; для выделения молочного жира из молочного сырья в целях получения высокожирных продуктов; для нормализации молочного сырья; для выделения белкового сгустка из молочного сырья.

Изобретение сепараторов было связано с необходимостью выделить в большом количестве сливки для получения масла. До появления процесса сепарирования сливки извлекали из молока отстаиванием. Это требовало больших площадей, много посуды и обслуживающего персонала. Сам же процесс отстаивания молока и получения сливок был длительным и продолжался от 10 до 30 ч. С изобретением сепараторов продолжительность выделения сливок была сведена до 3–4 с.

По виду технологического процесса современные сепараторы можно разделить на сепараторы-молокоочистители и сепараторы-сливкоотделители.

По конструктивным признакам различают сепараторы открытые (устаревший тип сепараторов), полугерметичные и герметичные. Все три типа сепараторов можно применять для выделения жировой и белковой фракций молочного сырья, а также для его очистки от механических и микробиологических примесей.

В открытых сепараторах ввод исходного продукта и вывод жидких фракций осуществляются в виде свободной струи при доступе воздуха. В этом случае образуется молочная пена, ухудшающая условия эксплуатации сепараторов. В полугерметичных сепараторах молочное сырье подается свободной струей, а вывод жидких фракций осуществляется под давлением. В герметичных сепараторах и ввод молочного сырья, и вывод жидких фракций осуществляются под давлением.

Вывод твердого осадка (сепараторной слизи) может быть периодическим при полной разборке и мойке сепарирующего устройства – барабана (сепараторы с ручной выгрузкой осадка); пульсирующим, обеспечивающим выброс осадка в течение долей секунды без остановки сепаратора путем раскрытия барабана (саморазгружающиеся сепараторы); непрерывным – выброс осадка происходит через сопла в стенках барабана (творожные).

Основные узлы сепараторов – станина, корпус, чаша, сепарирующее устройство (барабан); приемно-выводное устройство для продукта, поступающего в сепарирующее устройство, и жидких фракций, выводящихся из него; приводной механизм.

Барабан сепаратора имеет вставки в виде конических тарелок, обеспечивающих увеличение площади осаждения. Тарелки опираются друг на друга, создавая так называемый пакет тарелок. К тарелкам приварены радиальные полосы (шипик), которые образуют между ними необходимые зазоры.

Сепарирующие устройства бывают с нижним (в полугерметичном и герметичном сепараторах) и верхним (в открытом сепараторе) вводами продукта. Принципиальные отличия сепарирующего устройства сепаратора-молокоочистителя от сепарирующего устройства сепаратора-сливкоотделителя заключаются в следующем: в межтарелочное пространство сепарирующего устройства сепаратора-молокоочистителя жидкость входит с периферии тарелок, а не через отверстия в тарелках, как у сепаратора-сливкоотделителя. Отверстия в тарелках у сепараторов-молокоочистителей, как правило, отсутствуют, нет верхней разделительной тарелки. Продукт, обрабатываемый в сепараторах-молокоочистителях, направляется в отводной патрубок, а в сепараторах-сливкоотделителях – в патрубки для сливок и обезжиренного молока. Периферийное пространство сепараторов-молокоочистителей (грязевое пространство) больше, чем у сепараторов-сливкоотделителей.

2.2. Очистка молока от механических и микробиологических примесей

Процесс разделения молока на твердую (механические примеси) и жидкую (очищенное молоко) фракции происходит в барабане сепаратора-молокоочистителя.

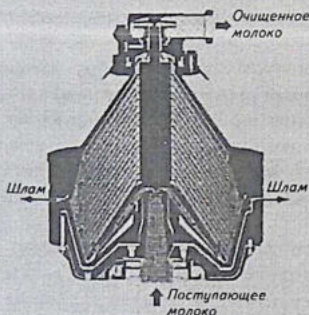


Рис. 2.1. Барабан полугерметичного сепаратора-молокоочистителя

Барабан полугерметичного сепаратора-молокоочистителя изображен на рис. 2.1. Молоко поступает из приемной камеры через входное устройство во вращающийся барабан. Далее молоко попадает в разделительные каналы с внешней стороны пакета тарелок, течет внутрь по каналам в радиальном направлении в сторону оси вращения и выводится наружу через отверстие в верхней части барабана. Основной процесс очистки происходит в межтарелочных пространствах: под действием центробежных сил

твердые примеси, плотность которых больше плотности молока, отделяются и направляются в обратную сторону вдоль нижней поверхности тарелок – на периферию барабана сепаратора. Там они накапливаются в отстойнике (шламовое пространство). По мере накопления шлам (грязевой осадок) нужно удалять из сепаратора-молокоочистителя, так как из заполненного пространства он может попасть в очищенное молоко и снизить эффективность очистки. Очищенное молоко по каналам, образованным тарелкодержателем и верхними кромками тарелок, устремляется вверх барабана и выводится из него через отверстие в крышке.

В сепараторах-молокоочистителях с ручной выгрузкой осадка приходится разбирать и мыть барабан. Это требует значительных затрат ручного труда, а также не позволяет длительно использовать один и тот же сепаратор. Время эффективной очистки на таком аппарате составляет 1,5–2 ч в зависимости от степени загрязнения молока и конструкции сепаратора-молокоочистителя.

Более перспективными и совершенными по конструкции и эксплуатации являются сепараторы-молокоочистители с автоматической выгрузкой грязевого осадка. Они снабжены подвижным днищем, которое во время сепарирования прижимается к уплотнитель-

ному кольцу в крышке барабана. Это происходит под воздействием гидравлического давления со стороны находящейся под барабаном воды. При команде «на выгрузку» вода сбрасывается из-под днища барабана, и оно мгновенно опускается, а осадок удаляется. Затем днище снова поднимается за счет подаваемой воды. Операция осуществляется без остановки сепаратора на мойку. В сепараторах большой производительности осадок выводится наружу автоматически водяной промывкой в цикле очистки.

Грязевой осадок (шлам или сепараторная слизь), выделяющийся при центробежной очистке, представляет собой вязкую массу грязно-серого цвета; он имеет следующий состав (%): сухих веществ – около 25–30, в том числе белковых веществ – 20–25, жира – 0,5–3, минеральных веществ – 2,5–3,5.

Центробежная очистка молока от механических примесей в сепараторах-молокоочистителях является наиболее совершенной. Она позволяет удалить из молока не только механические примеси, но и слизь, сгустки молока, эпителий, форменные элементы крови. Количество выделяемых примесей доходит до 0,02–0,06% массы молока, пропущенного через сепаратор-молокоочиститель. В зависимости от конструкции сепараторов-молокоочистителей центробежная очистка позволяет удалять от 90 до 660 мг механических примесей из 1 л молока.

Траектория движения дисперсных частиц внутри барабана сепаратора в любой его зоне обуславливается осаждением частиц и движением жидкости в рассматриваемой зоне.

Скорость движения потока жидкости v_n не одинакова в каждой точке межтарелочного пространства. Она изменяется от почти нулевой в непосредственной близости к тарелкам до максимальной в центре канала. Центробежная сила действует на все частицы, выталкивая их на периферию сепаратора со скоростью осаждения $v_{ст}$. Результирующая скорость v_p является суммой этих скоростей (рис. 2.2)

$$v_p = v_n + v_{ст}, \quad (1)$$

где v_n – средняя скорость потока жидкости; $v_{ст}$ – скорость осаждения частицы (скорость Стокса).

Частицы ($K...K_1$), находящиеся в межтарелочном пространстве, на первой стадии движения проникают через толщу плазмы молока и оседают на поверхности тарелки в точке B_1 . На второй стадии движения частицы более тяжелые, чем плазма молока, двигаясь под действием центробежной силы по тарелке, достигают периферии (точка B), откуда отбрасываются в грязевое пространство сепаратора.

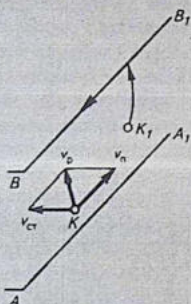


Рис. 2.2. Схема направления скорости твердой дисперсной частицы в межтарелочном пространстве сепаратора-молокоочистителя

ем центробежной силы, можно определить по следующей формуле:

$$W = 6\pi\mu r v, \quad (3)$$

где μ – вязкость среды; r – радиус дисперсной частицы; v – скорость движения дисперсной частицы к центру барабана.

Центробежная сила F , действующая на частицу, описывается следующей формулой:

$$F = 4\omega^2 R \pi r^3 (p_1 - p_2) / 3, \quad (4)$$

где ω – угловая скорость вращения барабана; p_1 и p_2 – плотность, соответственно, тяжелой и легкой фракций.

В центробежном поле дисперсная частица будет двигаться только при условии $F \geq W$.

Приравняв правые и левые части формул (3) и (4), получаем формулу Стокса, характеризующую скорость движения частиц в центробежном поле:

$$v_{сг} = 2r^2 \omega^2 R (p_1 - p_2) / 9\mu. \quad (5)$$

Эффективность очистки молока на сепараторах-молокоочистителях достаточно высока и характеризуется размером частиц дисперсной фазы, выделяемых при очистке молока. На молокоперерабатывающем предприятии качество очистки определяют визуально по содержанию механических примесей в молоке в сравнении с эталоном.

Среднюю скорость потока движения жидкости определяют по формуле:

$$v_n = M / (7,2\pi R h z), \quad (2)$$

где M – производительность сепаратора; R – расстояние от частицы до оси вращения; h – расстояние между тарелками по нормали; z – число тарелок.

Скорость течения жидкости v_n в межтарелочном пространстве любого тарельчатого сепаратора является величиной переменной. В сепараторах-молокоочистителях она имеет минимальное значение на входе в межтарелочное пространство и достигает максимума у вершины тарелки.

Физическая сущность процесса сепарирования основана на осаждении дисперсной фазы под давлением центробежной силы. Сопротивление среды W частице, передвигающейся под действием

Эффективность центробежной очистки молока во многом зависит от его температуры и кислотности.

С точки зрения сохранения качества исходного сырья более выгодно подвергать очистке холодное молоко. Но при этом из-за повышения вязкости уменьшается скорость удаления частиц механических загрязнений. Холодную очистку молока (температурой 4–10 °С) применяют в том случае, если необходимо поддерживать высокое качество молока в течение длительного периода (при производстве стерилизованных продуктов, детских продуктов и молочных консервов). Для увеличения эффективности очистки молока при холодном сепарировании на обычном сепараторе-молокоочистителе, которая уменьшается из-за повышения вязкости молока, производительность сепаратора снижают, либо применяют специальные сепараторы для холодной очистки молока.

Повышение температуры очистки более 50 °С приводит к тому, что часть механических загрязнений может раствориться или раздробиться в молоке, и они не будут отделяться под действием центробежной силы. Это также снижает эффективность очистки.

При очистке молока на сепараторах-молокоочистителях под действием механических сил жировые шарики дробятся, с повышением температуры очистки интенсивность дробления жировых шариков возрастает. Например, при повышении температуры с 10 до 80 °С количество жировых шариков размером до 1,5 мкм возрастает в 2 раза, а количество жировых шариков размером 3–6 мкм уменьшается в 2–3 раза. Такое интенсивное дробление жировых шариков приводит к потерям молочного жира при производстве масла, творога или сыра, так как существует большая вероятность перехода мелких жировых шариков в пахту или молочную сыворотку. Оптимальная температура очистки 35–45 °С.

В состав линий автоматизированных пластинчатых пастеризационно-охладительных установок входят сепараторы-молокоочистители. Молоко в потоке нагревается до температуры 35–45 °С в секции рекуперации установки и поступает в молокоочиститель, откуда вновь поступает в пастеризатор.

При повышении кислотности молока (особенно, если это сочетается с повышением температуры) часть белковых частиц коагулирует и при очистке отбрасывается в грязевое пространство сепаратора-молокоочистителя. Это приводит к более быстрому заполнению грязевого пространства и снижению эффективности очистки. Кроме вышеназванных факторов, на эффективность очистки влияют конструктивные особенности сепараторов-молокоочистителей: частота враще-

ния барабана, производительность сепаратора, продолжительность очистки. От производительности сепаратора-молокоочистителя зависит эффективность выделения частиц механических примесей различного диаметра. Чем меньшего размера частицы нужно выделить, тем меньше устанавливают производительность сепаратора.

Очистка молока от микробиологических примесей осуществляется в процессе бактериофугирования. Биологические загрязнения и плазма молока, имеющие разные плотности, разделяются под действием центробежной силы в бактериофуге, устройством напоминающей сепаратор-молокоочиститель. Отличие бактериофуги от сепаратора-молокоочистителя состоит в том, что частота вращения барабана бактериофуги значительно выше и по периферии тарелок расположены отверстия.

В процессе сепарирования слизь, в которой скапливаются микроорганизмы, собирается на периферии барабана, откуда с небольшим количеством молока через два отверстия выбрасывается наружу и попадает в кожух, снабженный специальным грязевым желобом с рубашкой.

Эффективность удаления бактерий с помощью бактериофугирования невелика – до 90%, поэтому заменять им тепловую обработку молока не рекомендуется. В сыроделии, где бактериофугирование находит наибольшее применение, его проводят при температурах пастеризации 72–74 °С, повышая таким образом эффективность пастеризации молока до 99,9%. Для повышения эффективности бактериофугирования уменьшают производительность бактериофуги и увеличивают продолжительность пребывания в ней молока.

2.3. Выделение молочного жира из молочного сыря

Сепарирование молочного сыря в целях выделения жира происходит в сепараторах-сливкоотделителях. Конечные продукты сепарирования – сливки с различной массовой долей жира и обезжиренное молоко (если сепарированию подвергалось цельное молоко), подсырные сливки и обезжиренная сыворотка (если сепарированию подвергалась молочная подсырная сыворотка).

Разделение молока на сливки и обезжиренное молоко в барабане открытого сепаратора-сливкоотделителя происходит следующим образом (рис. 2.3). Молоко поступает в центральную трубку барабана. Через отверстия в трубке оно попадает в каналы тарелкодержателя, откуда по каналу, образованному отверстиями в тарелках, движется вверх. По мере подъема молоко растекается между тарелками, где и

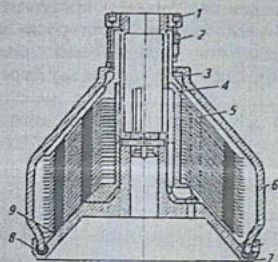


Рис. 2.3. Барабан открытого сепаратора-сливкоотделителя:

1 – гайка; 2 – регулировочный винт; 3 – разделительная тарелка; 4 – тарелкодержатель; 5 – пакет тарелок; 6 – крышка; 7 – днище с центральной трубкой; 8 – резиновое кольцо; 9 – нижняя тарелка

происходит разделение жировой фракции и плазмы. При этом жировые шарики как наиболее легкие оттесняются к центру, а обезжиренное молоко как наиболее тяжелая фракция устремляется к периферии в грязевое пространство. Из грязевого пространства обезжиренное молоко проходит между крышкой 6 и разделительной тарелкой 3 к отверстию для выхода. Жировые шарики осаждаются на наружной поверхности каждой тарелки, где они собираются и в виде сливок устремляются к оси вращения. Из пространства между горловиной разделительной тарелки и центральной трубкой сливки поступают к регулировочному винту 2 и выбрасываются из барабана.

Регулирование массовой доли жира в сливках в открытом сепараторе-сливкоотделителе

осуществляется путем изменения площади сечения отверстия между горловиной разделительной тарелки и центральной трубкой с помощью регулировочного винта. Сокращая площадь сечения ввинчиванием регулировочного винта ближе к оси барабана сепаратора, уменьшают поток проходящих здесь сливок, причем концентрация жира в них увеличивается. Для того, чтобы снизить массовую долю жира в сливках, нужно, наоборот, увеличить площадь сечения между горловиной разделительной тарелки и центральной трубкой с помощью вывинчивания регулировочного винта дальше от оси сепаратора: поток сливок увеличится, но концентрация жира снизится.

Барабан полугерметичного сепаратора-сливкоотделителя показан на рис. 2.4. Молоко через входное отверстие по неподвижной осевой трубе поступает в тарелкодержатель, откуда попадает внутрь разделительных отверстий пакета тарелок. Последний заканчивается разделительной тарелкой, которая не допускает смешивания обезжиренного молока со сливками. Между разделительной и верхней тарелками имеется напорная камера, в которой расположен напорный диск для сливок.

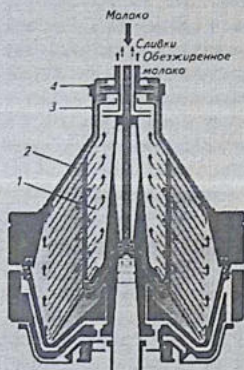


Рис. 2.4. Барабан полугерметичного самоочищающегося сепаратора-сливкоотделителя:

1 – тарелкодержатель; 2 – пакет тарелок; 3 – напорная камера сливок; 4 – напорная камера отделения обезжиренного молока

На крышке барабана предусмотрена горизонтальная перегородка с вертикальными отверстиями для обезжиренного молока. Между перегородкой и крышкой также имеется камера для напорного диска, нагнетающего обезжиренное молоко. Между трубками напорных дисков образуется канал для обезжиренного молока.

Под действием центробежных сил молоко отбрасывается на периферию и совершает вращательные движения, образуя цилиндрическую поверхность. Более тяжелые частицы (посторонние примеси) стремятся в направлении внешней границы и оседают в камере для накопления осадка (поэтому сепаратор-сливкоотделитель может одновременно исполнять функцию молокоочистителя). Жировые шарики как наиболее легкая часть направляются в сторону оси вращения и проходят по каналам, ведущим к камере отделения сливок. Обезжиренное молоко, имеющее большую плотность, чем сливки, отбрасывается к периферии барабана и проходит между разделительной тарелкой и

крышкой барабана в напорную камеру обезжиренного молока.

Полугерметичные сепараторы снабжены напорными дисками у выходных отверстий для сливок и обезжиренного молока; их также называют сепараторами с напорными дисками. Стационарные напорные диски погружены во вращающийся столб жидкости, обеспечивая выход жидкости под напором. Глубина погружения диска определяется необходимой массовой долей жира получаемых сливок. Кинетическая энергия вращающейся жидкости преобразуется в давление внутри напорного диска, которое равно давлению в стекающей вниз струе. Увеличение давления в спускающемся вниз потоке означает, что уровень жидкости в барабане снижается. Так автоматически поддерживается работа дроссельного клапана на выходе. Для предотвращения аэрации продукта необходимо, чтобы напорные диски были полностью погружены в жидкость.

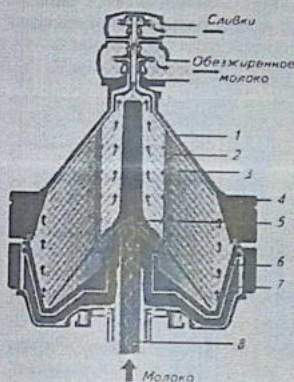


Рис. 2.5. Барабан герметичного самоочищающегося сепаратора-сливкоотделителя:

1 — крышка барабана; 2 — распределительное отверстие в тарелке; 3 — пакет тарелок; 4 — большое затяжное кольцо; 5 — тарелкодержатель; 6 — подвижное дно барабана; 7 — корпус барабана; 8 — полое веретено

полностью заполнен молоком. Внутри отсутствует воздух. Постоянное давление поддерживается в сепараторе с помощью автоматического регулятора потока, а регулирование массовой доли жира в сливках осуществляется с помощью клапана, на который во время работы сепаратора сверху оказывает давление сжатый воздух, а снизу — обезжиренное молоко.

Чтобы увеличить массовую долю жира в выходящих из сепаратора сливках, нужно снизить давление обезжиренного молока. Тогда под давлением сжатого воздуха клапан будет смещаться вниз, уменьшится отверстие для выходящих сливок, увеличится концентрация жира. Понизить концентрацию жира в сливках на выходе можно, действуя противоположным образом.

Объем сливок, выходящих из сепаратора с напорными дисками, контролируется клапаном со встроенным расходомером. Размер отверстия в клапане можно изменить с помощью регулировочного винта. Количество сливок, выходящих из сепаратора с напорными дисками, зависит от положения дроссельного клапана у патрубка для выхода сливок. При постоянно открытом клапане из этого патрубка будет выходить большее количество сливок с меньшей массовой долей жира. С помощью регулировочного клапана на выходе обезжиренного молока задают определенное давление, затем регулируют положение дроссельного клапана на выходном патрубке для сливок для получения такого объема потока, который будет обеспечивать в сливках заданную массовую долю жира.

В герметичном сепараторе-сливкоотделителе (рис. 2.5) молоко подается в барабан через полое веретено. Во время работы барабан герметичного сепаратора

Масса сливок, получаемых при сепарировании молока, зависит от массовой доли жира в цельном молоке при условии ее стабильности в получаемых сливках

$$m_{\text{сл}} = K m_{\text{ц.м}} (\text{ж}_{\text{ц.м}} - \text{ж}_{\text{об.м}}) / (\text{ж}_{\text{сл}} - \text{ж}_{\text{об.м}}), \quad (6)$$

где K – коэффициент, учитывающий потери (n) сливок при сепарировании [$K = (100 - n)/100$]; $m_{\text{ц.м}}$ – масса цельного молока, поступающего в сепаратор; $\text{ж}_{\text{ц.м}}$, $\text{ж}_{\text{об.м}}$, $\text{ж}_{\text{сл}}$ – массовая доля жира, соответственно, в цельном и обезжиренном молоке и сливках.

Фактический выход сливок из 100 единиц сырья при сепарировании можно рассчитать по следующей формуле:

$$B_{\text{ф.сл}} = 100 m_{\text{ф.сл}} / m_{\text{ф.ц.м}}, \quad (7)$$

где $m_{\text{ф.сл}}$ – фактическая масса сливок, полученная при сепарировании; $m_{\text{ф.ц.м}}$ – масса цельного молока, фактически подвергавшегося сепарированию.

Например, из цельного молока с массовой долей жира 3,6% при пропускной способности сепаратора 10000 л/ч можно получить 1800 л/ч сливок с массовой долей жира 20%, т. е. иметь выход сливок около 18% массы сепарируемого за 1 ч молока.

Норму расхода молока для получения 1 т сливок можно рассчитать по формуле:

$$P_n = 1000 (\text{ж}_{\text{сл}} - \text{ж}_{\text{об.м}}) / [\text{ж}_{\text{ц.м}} (1 - 0,01 n_{\text{ж}}) - \text{ж}_{\text{об.м}}]. \quad (8)$$

Продукты, получаемые при сепарировании, имеют следующие характеристики:

Сливки (концентрат молочного жира): получаемое количество – 10–15%; массовая доля (%): жира – 10–35, белка – 2,1, лактозы – 2,7, минеральных веществ – 0,2, СОМО – 5,4, воздуха – 1–4. При температуре 20 °С плотность сливок составляет 997 кг/м³ ($\text{ж}_{\text{сл}} = 35\%$), 1025 кг/м³ ($\text{ж}_{\text{сл}} = 10\%$); вязкость – 7,6 Па·с.

Обезжиренное молоко: получаемое количество – 85–90%; массовая доля (%): сухих веществ – 8,9, в том числе жира – 0,05, белка – 3,3, лактозы – 4,8, минеральных веществ – 0,75. Плотность обезжиренного молока при температуре 20 °С составляет 1034–1040 кг/м³.

Сепараторная слизь: получаемое количество – 0,06%, массовая доля (%): сухих веществ – 30–35, в том числе жира – 3,0–3,5, белка – 20–25, минеральных веществ – 3,0, других органических веществ – 2,0.

Потери при сепарировании составляют от 0,1% массы исходного сырья.

Особенность фракционного разделения молока в сепараторе-сливкоотделителе заключается в следующем. Траектория движения жирового шарика состоит из двух стадий: стадии проникновения

жирового шарика через толщу плазмы и осаждения его на поверхности тарелки и стадии перемещения жирового шарика по наружной поверхности тарелки от периферии к центру.

Жировой шарик, осевший на поверхности тарелки, находится под воздействием двух сил, направленных в противоположные стороны. Первая направлена по образующей и представляет собой силу лобового давления потока, т. е. жировые шарики движутся с потоком молока вниз к периферии тарелок со скоростью потока v_n . Вторая сила – это тангенциальная составляющая силы Стокса; в силу того, что жировые шарики находятся под действием центростремительного ускорения, они будут всплывать (двигаться) к центру барабана со скоростью Стокса ($v_{ст}$). Скорость движения частиц на первой стадии – это скорость слоев жидкости (v_n), находящихся от тарелки на расстоянии, соизмеримом с диаметром частиц дисперсной фазы:

$$v_n = M/(2\pi R(h-s)z \cos \alpha), \quad (9)$$

где M – производительность сепаратора; R – радиус тарелки, на которой была определена скорость потока; h – расстояние между тарелками; s – толщина слоя (потока) сливок на тарелке; z – число тарелок; α – угол наклона тарелки.

Результирующую скорость потока v_{pn} молока при выделении жировых шариков можно определить по следующей формуле:

$$v_{pn} = 5,22md/(\pi^2 h^2 R), \quad (10)$$

где m – нагрузка на тарелку; d – диаметр отверстий в тарелке; h – расстояние между тарелками; R – радиус тарелки, на которой определена скорость.

По мере удаления жирового шарика от оси вращения барабана сепаратора скорость Стокса $v_{ст}$ будет возрастать, так как увеличивается расстояние до жирового шарика от оси вращения. Скорость потока при этом будет уменьшаться, поскольку уменьшается толщина слоя (потока) сливок на тарелке и, соответственно, увеличивается расстояние между тарелками. Вследствие этого результирующая скорость жирового шарика будет направлена к оси вращения и самые благоприятные условия для выделения жировых шариков будут у распределительных отверстий тарелок (рис. 2.6).

В межтарелочных пространствах сепаратора-сливкоотделителя при сепарировании появляются два потока: поток молока, обезжиривающегося по пути своего движения вниз, и поток сливок (жировые шарики), движущийся в противоположном направлении. При входе в межтарелочное пространство жировые шарики будут более или менее равномерно распределены в потоке, но те из них, которые окажутся ближе к нижней тарелке, быстро перейдут в сливочный слой.

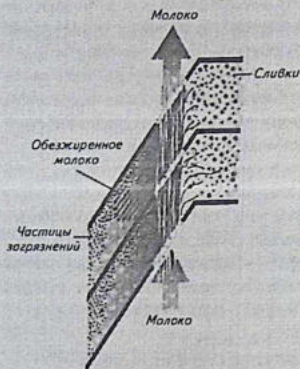


Рис. 2.6. Схема движения жировых шариков в межтарелочном пространстве сепаратора-сливкоотделителя

В верхней части тарелки у выхода сливок будет максимальная толщина сливочного слоя, включающая наиболее крупные жировые шарики. В нижней части тарелки будут осаждаться наиболее мелкие жировые шарики. Скорость потока здесь будет минимальной из-за увеличения межтарелочного пространства, а скорость Стокса — максимальной из-за увеличения радиуса тарелки. Направление движения жирового шарика можно определить путем сопоставления значений скорости потока и скорости Стокса. Если $v_{ст} \leq v_n$, то жировой шарик движется к периферии, если $v_{ст} > v_n$, то жировой шарик будет унесен к центру барабана.

Эффективность сепарирования определяется степенью перехода жира в обезжиренное молоко. Степень перехода, или обезжиривания, α определяет долю жира, перешедшего в готовый продукт, от его количества в переработанном сырье:

$$\alpha = \frac{m_{сл} \cdot \mathcal{H}_{сл}}{m_{ц.м} \cdot \mathcal{H}_{ц.м}} \quad (11)$$

Подставляем в эту формулу значение массы сливок из формулы (6) и получаем

$$\alpha = \frac{\mathcal{H}_{сл} (\mathcal{H}_{ц.м} - \mathcal{H}_{об.м})}{\mathcal{H}_{ц.м} (\mathcal{H}_{сл} - \mathcal{H}_{об.м})} \quad (12)$$

С увеличением массовой доли жира в обезжиренном молоке степень перехода жира снижается, и наоборот. Например, снижение массовой доли жира в обезжиренном молоке с 0,05 до 0,01% при сепарировании молока повышает степень перехода жира с 98,5 до 99,7%, т. е. на 1,2%. Таким образом, для повышения эффективности работы сепаратора-сливкоотделителя необходимо снижать массовую долю жира в обезжиренном молоке.

Процесс сепарирования можно разделить на три стадии (рис. 2.7).

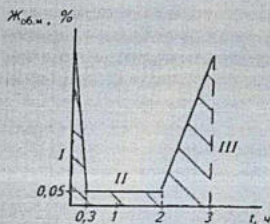


Рис. 2.7. Стадии (I–III) сепарирования молока на сепараторе-сливкоотделителе

ращения барабана. Чтобы исключить эту стадию или свести к минимуму во избежание больших потерь жира, нужно провести подготовку к работе: вначале включить сепаратор и пропустить через него горячую воду температурой 50–60 °С. За это время барабан сепаратора прогреется и наберет рабочее число оборотов.

Стадия II называется стадией установившегося режима, когда массовая доля жира в обезжиренном молоке достигает нормативного значения и в течение какого-то времени не изменяется. В зависимости от различных факторов (механической чистоты молока, кислотности, производительности сепаратора и др.) эта стадия может продолжаться от 40 до 120 мин. По окончании этого срока начинается стадия сепарирования III, когда массовая доля жира в обезжиренном молоке начинает увеличиваться. Причиной этого могут быть заполнение грязевого пространства сепаратора механическими примесями и сепараторной слизью, а также загрязнения межтарелочных пространств сепаратора. По мере заполнения грязевого пространства и засорения межтарелочных пространств уменьшается массовая доля жира в сливках (жидкие сливки, выходящие из сепаратора, — первый признак заполнения грязевого пространства). Это происходит из-за того, что при заполненном грязевом пространстве молоко поднимается в зазоре между тарелками и тарелкодержателем и выходит через канал для сливок, снижая в них концентрацию жира.

На производстве для избежания потерь жира исключают стадии I и III путем подготовки сепаратора к работе и своевременной остановки его на мойку при заполнении грязевого пространства. При использовании сепаратора-сливкоотделителя с безостановочной выгрузкой осадка стадия II продлевается до 5–6 ч и более. Если по условиям производства нельзя остановить сепаратор на мойку, то в

В первые несколько минут сепарирования массовая доля жира в обезжиренном молоке нестабильна, затем постепенно уменьшается и в течение определенного периода времени достигает минимального значения (нормативное значение $Ж_{об.м} = 0,05\%$). Это время называется стадией неустановившегося режима сепарирования (стадия I). Продолжительность ее зависит от температуры сепарируемого молока, от времени, за которое будет достигнута рабочая частота вра-

целях увеличения продолжительности безостановочной работы временно прекращают подачу молока и пропускают небольшое количество воды, а затем снова начинают сепарировать молоко. Кроме правильной эксплуатации сепараторов-сливкоотделителей, их необходимо своевременно ремонтировать и заменять изношенные детали.

2.4. Влияние различных факторов на эффективность сепарирования

На эффективность сепарирования влияют прежде всего технологические факторы, такие как температура сепарирования, кислотность молока, загрязнение молока механическими примесями, размер и плотность жировых шариков, предварительная обработка, массовая доля жира в молоке, плотность и вязкость молока; конструктивные факторы, такие, как частота вращения барабана сепаратора, производительность сепаратора и др.

Рассмотрим основные из перечисленных факторов. Оптимальная температура сепарирования составляет 40–45 °С. Дальнейшее повышение температуры приводит к снижению эффективности сепарирования, т. е. к увеличению жира в обезжиренном молоке.

Повышение температуры сепарирования способствует денатурации сывороточных белков молока, агрегации их с казеином и появлению белковых хлопьев. При этом грязевое пространство сепаратора быстро заполняется сепараторной слизью, что приводит к ухудшению выделения жира.

При сепарировании молока, особенно при повышенных температурах, происходит сильное вспенивание сливок и обезжиренного молока, что также ухудшает качество обезжиривания. В открытых сепараторах пена образуется на входе молока в сепаратор, на выходе продуктов сепарирования и при поступлении сливок и обезжиренного молока из сепаратора в резервуары промежуточного хранения. В полугерметичных и герметичных сепараторах вспенивание сливок и обезжиренного молока происходит при поступлении после сепарирования в резервуары для хранения. Наличие пены в цельном молоке, сливках и обезжиренном молоке может отрицательно повлиять на эффективность их тепловой обработки, так как уменьшает теплопроводность продуктов.

Сильное вспенивание сливок может привести к образованию жировых комочков (мелких масляных зерен), что отрицательно отражается на их дальнейшей обработке.

Кроме того, при высоких температурах сепарирования происходит дробление жировых шариков из-за дестабилизации белково-

лецитиновой оболочки (белки оболочки жировых шариков также реагируют на повышение температуры и денатурируют, в результате чего оболочка теряет стабильность). При этом эффективность обезжиривания снижается, так как часть мелких жировых шариков уходит в обезжиренное молоко. Другая часть мелких жировых шариков, которая все же попадает при этом в сливки, при производстве масла, например, переходит в пахту, что снижает выход масла.

Температуру сепарирования выше 45 °C применяют лишь в тех случаях, когда по условиям производства необходимо сепарировать молоко сразу после пастеризации. Следует отметить, что высокожирные сливки при производстве масла поточным способом сепарируют только при высокой температуре (85–90 °C).

Сепарирование молока при низких температурах, так называемое холодное сепарирование, имеет свои преимущества и недостатки. При холодном сепарировании экономится электроэнергия, не происходит быстрого развития жизнедеятельности микроорганизмов, жировые шарики подвергаются меньшему воздействию, поэтому сливки более стабильны и менее подвержены порче. Недостатком холодного сепарирования сливок является снижение эффективности обезжиривания. Вязкость охлажденного молока больше, чем нагретого. При нагревании молока с 10 до 30 °C вязкость его уменьшается в два раза. С увеличением вязкости уменьшается скорость всплывания жировых шариков и возможность выделения их из молока при сепарировании. Повышение эффективности обезжиривания возможно при использовании сепараторов для холодного сепарирования молока и значительном уменьшении производительности сепаратора. Например, при температуре 5 °C паспортную производительность сепаратора рекомендуется снизить на 50%, при температуре 10 °C – на 30%, при температуре 15 °C – на 25%. За счет снижения производительности сепаратора увеличивается продолжительность безостановочной работы (при холодном сепарировании аппарат может работать без перерыва 4 ч). Однако при уменьшении производительности при сепарировании холодного молока возможно увеличение потерь жира с обезжиренным молоком.

Было введено понятие разделяемости молока:

$$E = r^2(p_{пл} - p_{жш})/\mu,$$

где r – радиус жирового шарика; $p_{пл}$, $p_{жш}$ – плотность, соответственно, плазмы молока и жирового шарика; μ – вязкость молока.

С достаточным приближением можно считать, что отношение $(p_{пл} - p_{жш})/\mu$ является функцией температуры. С повышением температуры оно увеличивается за счет уменьшения вязкости и увеличения диаметра жировых шариков. При повышении температуры се-

парирования с 5 до 60 °С средний диаметр жирового шарика увеличится примерно на 9%, при этом скорость Стокса повысится на 6%.

Повышенная кислотность молока уменьшает отрицательный заряд казеина, что приводит к частичной коагуляции белков молока. Белковые хлопья быстро заполняют грязевое пространство сепаратора, увеличивая количество сепараторной слизи, что влечет за собой переход жировых шариков в обезжиренное молоко и загрязнение его механическими примесями. Поэтому нужно чаще останавливать сепаратор на мойку либо применять самоочищающиеся сепараторы. Во избежание снижения эффективности сепарирования рекомендуется сепарировать молоко кислотностью не выше 20 °Т.

Повышенная механическая загрязненность молока приводит к снижению эффективности обезжиривания так же, как это было описано выше — из-за быстрого заполнения грязевого пространства и попадания жировых шариков в обезжиренное молоко. Кроме того, увеличение механических загрязнений повышает бактериальное загрязнение молока, которое быстро возрастает, так как температура сепарирования оптимальна для развития микрофлоры.

От размера жировых шариков молока во многом зависит степень обезжиривания при сепарировании. Эффективность действия сепаратора должна определяться минимальным размером жирового шарика, который на данном сепараторе можно отделить от плазмы молока. Чем меньше размер жировых шариков, тем труднее их выделить из молока, поскольку их плотность повышается из-за увеличения доли белкового адсорбционного слоя оболочки.

Плотность жировых шариков определяют как среднюю величину плотности жира и белковой оболочки. Отношение размера жирового шарика к толщине оболочки обуславливается главным образом его диаметром. Чем меньше диаметр, тем больше доля оболочки и сильнее влияние белкового слоя, увеличивающего плотность жирового шарика. При толщине оболочки 0,02 мкм жировой шарик диаметром 1 мкм имеет плотность в 1,1 раза большую, чем жировой шарик диаметром 3 мкм. При минимальном размере жирового шарика наступит равенство плотностей жира и плазмы молока. Когда $\rho_{шл} = \rho_{пл}$, скорость Стокса для такого шарика будет равна нулю. Это означает, что жировые шарики при сепарировании перейдут в обезжиренное молоко и не попадут в сливки. Критический диаметр жирового шарика, не выделяющегося из плазмы молока, составляет примерно 0,2 мкм.

Эффективность сепарирования молока зависит еще и от количества жировых шариков предельно малого диаметра, не выделяющихся из молока. На этот фактор влияет предварительная механическая обработка молока перед сепарированием, применяемая для раздробления

жировых шариков (использование центробежных насосов для подачи молока в сепаратор и другое интенсивное механическое воздействие).

С помощью различных приемов можно уменьшить переход жира в обезжиренное молоко: снизить производительность сепаратора, повысить температуру сепарирования, увеличить частоту вращения барабана сепаратора и т. п.

Из *конструктивных характеристик* сепараторов особое влияние на эффективность сепарирования оказывают их производительность и частота вращения барабана. Эффективность обезжиривания снижается, если повышается производительность сепаратора. Снижение эффективности сепарирования происходит также при уменьшении частоты вращения барабана сепаратора. Поэтому необходимо поддерживать постоянным приток молока в сепаратор и не изменять частоту вращения барабана сепаратора по сравнению с паспортными данными.

К снижению эффективности сепарирования приводит увеличение скорости потока вследствие увеличения расстояния между тарелками. В этом случае путь движения шарика в радиальном направлении увеличивается, а продолжительность прохождения этого пути уменьшается из-за возрастания скорости потока, и жировой шарик будет унесен вместе с потоком обезжиренного молока. Оптимальное расстояние между тарелками сепараторов-сливкоотделителей — 0,8–1,0 мм, сепараторов-молокоочистителей — 1,2–1,6 мм.

При обычном сепарировании молока можно получить сливки с минимальной массовой долей жира 55%. Для получения высокожирных сливок с массовой долей жира 85% требуется повторное сепарирование. Поэтому высокожирные сливки получают в два этапа: сначала получают сливки с массовой долей жира 35–40%, а затем высокожирные сливки с массовой долей жира 83–85%. В высокожирных сливках большинство жировых шариков деформировано, они имеют повышенную вязкость, что ухудшает эффективность обезжиривания. Для ее повышения сливки с массовой долей жира 35–40% сепарируют при температуре 85–92 °С. При этой температуре денатурируют сывороточные белки, а при повышенной кислотности частично коагулируют казеин, что приводит к образованию повышенного количества сепараторной слизи. Вследствие теплового и механического воздействия на сливки оболочка жировых шариков дестабилизируется и происходит дезмульгирование (вытапливание) жира. Свободный жир имеет повышенную способность к окислению и гидролизу, что в дальнейшем сказывается на хранении масла, полученного из высокожирных сливок. Для получения высокожирных сливок лучше использовать герметичные сепараторы. В них можно создавать высокие давления, позволяющие получить сливки с массовой долей жира выше 72%.

2.5. Нормализация молока

Нормализацию молока по массовой доле жира, сухих веществ или сухих обезжиренных веществ проводят в целях получения молочных продуктов стандартного состава. По массовой доле жира молоко нормализуют при производстве всех молочных продуктов, кроме нежирных. По массовой доле сухих или сухих обезжиренных веществ молоко нормализуют после нормализации по массовой доле жира при производстве некоторых видов молочных продуктов (молочных консервов, сыров, творога, молочных продуктов с повышенной долей сухих обезжиренных веществ и т. д.).

Нормализацию молока по массовой доле жира можно выполнять периодическим и непрерывным способами.

При периодическом способе нормализации смешивают обезжиренное молоко и сливки с цельным молоком или между собой в количествах, необходимых для получения молока с заданной массовой долей жира.

При непрерывном способе нормализация молока осуществляется в потоке на сепараторе-сливкоотделителе с нормализующим устройством. Способ нормализации (стандартизации) молока определяют в зависимости от материально-технической базы производства: при использовании первого способа необходимо дополнительно оснащать производство резервуарами для смешивания, при использовании второго способа необходимо иметь сепараторы-сливкоотделители с нормализующими устройствами.

Нормализация молока периодическим способом. Периодический способ предусматривает нормализацию молока в зависимости от массовой доли жира в цельном молоке по следующим двум вариантам.

Если *требуемая массовая доля жира в нормализованном молоке меньше, чем в цельном исходном молоке*, то к цельному молоку нужно добавить определенное количество обезжиренного молока для снижения концентрации жира, либо обезжиренное молоко в определенных пропорциях смешать с концентрированным молочным жиром. При этом материальный баланс нормализации будет выглядеть следующим образом:

$$m_{н.м} = m_{ц.м} + m_{об.м} \quad (1\text{-й вариант})$$

или

$$m_{н.м} = m_{об.м} + m_{сл}, \quad (2\text{-й вариант})$$

где $m_{н.м}$ — масса нормализованного молока; $m_{ц.м}$ — масса цельного молока; $m_{об.м}$ — масса обезжиренного молока; $m_{сл}$ — масса сливок.

Массы необходимых для смешивания компонентов можно рассчитать с помощью расчетного треугольника Баркана, зная одну из величин.

В вершинах равностороннего треугольника указывают массовую долю одного из компонентов молока (например, массовую долю жира) в процентах. На внутренних сторонах треугольника записывают значения массы сырья, готового и побочного продуктов — напротив соответствующей массовой доли компонента. На внешних сторонах треугольника записывают разность между большим и меньшим значениями массовых долей компонентов, находящихся в прилегающих к этой стороне вершинах треугольника.

По правилу расчетного треугольника, отношения внутренних сторон к внешним равны и являются постоянными для данного треугольника. Расчет нормализации периодическим способом с помощью расчетного треугольника при условии, когда $ж_{н.м} < ж_{ц.м}$, будет выглядеть следующим образом:

$$m_{ц.м}/(ж_{н.м} - ж_{об.м}) = m_{об.м}/(ж_{ц.м} - ж_{н.м}) = m_{н.м}/(ж_{ц.м} - ж_{об.м}).$$

Например, если известна масса нормализованной смеси, можно найти массу компонентов, необходимых для смешивания (рис. 2.8, а)

$$m_{ц.м} = m_{н.м}(ж_{ц.м} - ж_{об.м})/(ж_{ц.м} - ж_{об.м});$$

$$m_{об.м} = m_{н.м}(ж_{ц.м} - ж_{н.м})/(ж_{ц.м} - ж_{об.м})$$

и во втором варианте (рис. 2.8, б):

$$m_{н.м}/(ж_{сл} - ж_{об.м}) = m_{сл}/(ж_{н.м} - ж_{об.м}) = m_{об.м}/(ж_{сл} - ж_{н.м});$$

$$m_{об.м} = m_{н.м}(ж_{сл} - ж_{н.м})/(ж_{сл} - ж_{об.м});$$

$$m_{сл} = m_{н.м}(ж_{н.м} - ж_{об.м})/(ж_{сл} - ж_{об.м}).$$

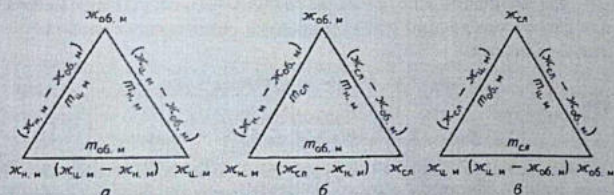


Рис. 2.8. Расчет треугольника Баркана

Для получения требуемого количества обезжиренного молока или сливок необходимо просепарировать определенное количество цельного молока (рис. 2.8, в):

$$m_{ц.м(сеп)}/(ж_{ссл} - ж_{об.м}) = m_{сл}/(ж_{ц.м} - ж_{об.м}) = m_{об.м}/(ж_{ссл} - ж_{ц.м});$$

$$m_{ц.м(сеп)} = m_{сл}(ж_{ссл} - ж_{об.м})/(ж_{ц.м} - ж_{об.м})$$

или

$$m_{ц.м(сеп)} = m_{об.м}(ж_{ссл} - ж_{об.м})/(ж_{ссл} - ж_{ц.м}).$$

Если *требуемая массовая доля жира в нормализованном молоке больше, чем в цельном исходном молоке*, то к цельному молоку нужно добавить определенное количество сливок в целях повышения концентрации жира, либо обезжиренное молоко в определенных пропорциях смешать с концентрированным молочным жиром. При этом материальный баланс нормализации будет выглядеть следующим образом:

$$m_{н.м} = m_{ц.м} + m_{сл} \quad (1\text{-й вариант})$$

или

$$m_{н.м} = m_{об.м} + m_{сл}. \quad (2\text{-й вариант})$$

Если известна масса нормализованной смеси, можно найти массу компонентов, необходимых для смешивания:

$$m_{ц.м}/(ж_{ссл} - ж_{н.м}) = m_{сл}/(ж_{н.м} - ж_{ц.м}) = m_{н.м}/(ж_{ссл} - ж_{н.м});$$

$$m_{ц.м} = m_{н.м}(ж_{ссл} - ж_{н.м})/(ж_{ссл} - ж_{ц.м});$$

$$T_{сл} = T_{н.м}(ж_{н.м} - ж_{ц.м})/(ж_{ссл} - ж_{ц.м})$$

и во втором варианте:

$$m_{н.м}/(ж_{ссл} - ж_{об.м}) = m_{сл}/(ж_{н.м} - ж_{об.м}) = m_{об.м}/(ж_{ссл} - ж_{н.м});$$

$$m_{об.м} = m_{н.м}(ж_{ссл} - ж_{н.м})/(ж_{ссл} - ж_{об.м});$$

$$m_{сл} = m_{н.м}(ж_{н.м} - ж_{об.м})/(ж_{ссл} - ж_{об.м}).$$

Для получения требуемого количества обезжиренного молока или сливок необходимо просепарировать определенное количество цельного молока:

$$m_{ц.м(сеп)} = m_{сл}(ж_{ссл} - ж_{об.м})/(ж_{ц.м} - ж_{об.м})$$

или

$$m_{ц.м(сеп)} = m_{об.м}(ж_{ссл} - ж_{об.м})/(ж_{ссл} - ж_{ц.м}).$$

Нормализация молока непрерывным способом. Непрерывный способ предусматривает нормализацию состава молока на сепараторе-сливкоотделителе с нормализующим устройством. Цельное молоко сепарируют с разделением на сливки и обезжиренное молоко и последующей нормализацией по разным схемам.

По одной схеме полученные обезжиренное молоко и сливки смешивают в нормализующем устройстве сепаратора в пропорциях, необ-

ходимых для получения определенной массовой доли жира в нормализованном молоке. При этом из сепаратора отводят остаток либо обезжиренного молока, либо сливок в зависимости от массовой доли жира в цельном и нормализованном молоке. По этой же схеме можно нормализовать сливки в потоке, регулируя массовую долю жира в сливках.

Если *требуемая массовая доля жира в нормализованном молоке меньше, чем в цельном исходном молоке*, то из сепаратора отводят нормализованное молоко и избыток сливок. Материальный баланс нормализации в этом случае выглядит следующим образом:

$$m_{ц.м} = m_{н.м} + m_{сл.м}$$

Массы нормализованного молока и сливок можно найти с помощью расчетного треугольника Баркана:

$$m_{ц.м}/(ж_{сл} - ж_{н.м}) = m_{сл.м}/(ж_{ц.м} - ж_{н.м}) = m_{н.м}/(ж_{сл} - ж_{ц.м});$$

$$m_{н.м} = m_{ц.м}(ж_{ц.м} - ж_{об.м})/(ж_{н.м} - ж_{об.м});$$

$$m_{сл} = m_{ц.м}(ж_{н.м} - ж_{ц.м})/(ж_{н.м} - ж_{об.м}).$$

По другой схеме в обезжиренное молоко, полученное при сепарировании, нормализующим устройством дозируется расчетное количество сливок с заданной массовой долей жира. При этом из сепаратора постоянно отводят избыток сливок и нормализованное молоко. Материальный баланс нормализации в этом случае выглядит следующим образом:

$$m_{ц.м} = m_{н.м} + m_{сл.м}$$

Массы нормализованного молока и сливок можно найти с помощью расчетного треугольника Баркана:

$$m_{н.м} = m_{ц.м}(ж_{сл} - ж_{ц.м})/(ж_{сл} - ж_{н.м});$$

$$m_{сл} = m_{ц.м}(ж_{н.м} - ж_{ц.м})/(ж_{сл} - ж_{н.м}).$$

Процесс автоматической непрерывной нормализации молока и сливок в потоке показан на рис. 2.9. Клапан постоянного давления, установленный на выходе обезжиренного молока, поддерживает давление независимо от колебаний перепадов давлений. Система регулировки параметров сливок (датчик плотности, расходомеры, регулирующие клапаны, отсечной клапан, обратный клапан) поддерживает постоянную массовую долю жира в сливках, выходящих из сепаратора. Регулятор соотношения в необходимой пропорции смешивает сливки с постоянной массовой долей жира с обезжиренным молоком. В результате получается нормализованное молоко с заданной массовой долей жира.

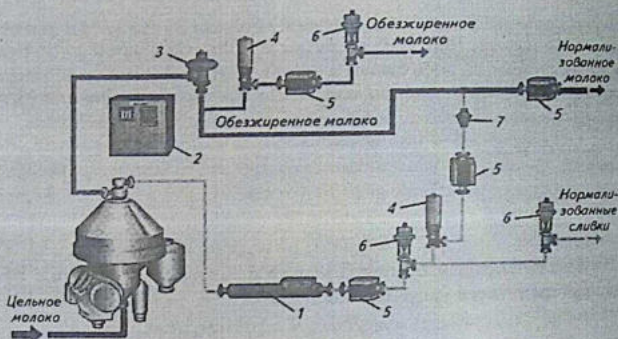


Рис. 2.9. Схема нормализации молока в потоке:

1 – датчик плотности; 2 – пульт управления; 3 – клапан постоянного давления; 4 – отсечной клапан; 5 – расходомер; 6 – управляющий клапан; 7 – обратный клапан

Массовую долю жира в нормализованном молоке регулируют с помощью клапана постоянного давления, расположенного на выходе обезжиренного молока. Для обеспечения стабильного значения массовой доли жира в нормализованном молоке необходимо контролировать такие параметры процесса, как массовая доля жира поступающего цельного молока, объем молока, проходящего через сепаратор за единицу времени, температура поступающего в сепаратор молока. Большинство этих параметров взаимосвязаны, и отклонение одного из них ведет к изменениям других.

При производстве некоторых молочных продуктов (сыр, творог) возникает необходимость нормализации массовой доли жира с учетом массовой доли белка (сухого обезжиренного молочного остатка). Для этого в схеме автоматической непрерывной нормализации молока необходимо установить второй датчик плотности на соединенную с сепаратором трубу для обезжиренного молока (см. рис. 2.9).

Система контроля автоматически преобразовывает плотность обезжиренного молока в массовую долю белка (сухого обезжиренного молочного остатка). Этот параметр затем используется для регулирования отношения массовой доли жира к массовой доле белка (сухого обезжиренного молочного остатка).

При производстве молочных продуктов с повышенной массовой долей сухого обезжиренного молочного остатка (кефир Таллин-

ский, кефир Особый, йогурт и т. д.) нормализовать молоко по массовой доле сухого обезжиренного молочного остатка можно путем смешивания необходимых продуктов после нормализации молока по массовой доле жира (периодический способ). Для этого цельное исходное молоко или нормализованное по массовой доле жира молоко смешивают с рассчитанным количеством сухих или сгущенных молочных продуктов или с белковыми концентратами. Массу сухого молока для нормализации рассчитывают с учетом растворимости сухого молока по следующей формуле:

$$m_{\text{сухм}} = 100m/p, \quad (13)$$

где m – масса сухого молока по рецептуре; p – фактическая растворимость сухого молока.

2.6. Гомогенизация в молочной промышленности

В молочной промышленности гомогенизация – это процесс дробления жировых шариков и частичного разрушения белковых веществ молока и сливок, имеющих диаметр выше 140 нм. Цель гомогенизации – предотвращение самопроизвольного отстаивания жира в процессе производства и хранения молочных продуктов, обеспечение однородной консистенции продукта без расслоения. Правильно проведенная гомогенизация исключает появление свободного жира, тем самым увеличивая сроки хранения молочных продуктов; регулирует структурно-механические свойства молочнобелковых сгустков; улучшает вкусовые качества продуктов.

К нежелательным последствиям гомогенизации можно отнести пониженную термоустойчивость гомогенизированных молока и сливок; возникновение повышенной чувствительности к свету и, как следствие, возникновение «солнечного» привкуса; невозможность сепарирования гомогенизированного молока; непригодность гомогенизированного молока для производства сыров и творога, так как сгустки будут плохо отделять сыворотку.

Условия, при которых гомогенизация будет эффективна, следующие: молочный жир должен находиться в жидком состоянии; дробление жировых шариков возможно только при внешнем воздействии; необходимо образование нового защитного слоя каждого жирового шарика.

2.6.1. Стабильность эмульсии молочного жира

Стабильность жировой эмульсии молока или сливок (сопротивляемость жировых шариков агрегации) имеет большое значение в производстве молочных продуктов. При производстве одних молоч-

ных продуктов желательнее, как можно дольше сохранить жировую эмульсию стабильной (пастеризованные и стерилизованные молоко и сливки, кисломолочные продукты, молочные консервы, мороженое). При производстве других продуктов, наоборот, желательнее наиболее полно разрушить жировую эмульсию для агрегации жировых шариков (производство коровьего масла).

В спокойном состоянии в свежем молоке через 20–30 мин после выдаивания появляется слой отстоявшихся сливок, что обусловлено различной плотностью молочного жира ($994\text{--}1025\text{ кг/м}^3$) и молочной плазмы ($1034\text{--}1040\text{ кг/м}^3$). Скорость всплытия жирового шарика может быть описана формулой:

$$v = 2r^2g(p_n - p_{\text{ж}})/9\mu, \quad (14)$$

где r – радиус жирового шарика; g – ускорение свободного падения; p_n – плотность плазмы; $p_{\text{ж}}$ – плотность жирового шарика; μ – динамическая вязкость.

Чем больше разница между плотностями жира и плазмы, тем выше скорость всплывания. Кроме того, скорость всплывания зависит от размера жировых шариков, вязкости молока или сливок, температуры. При быстром охлаждении сырого молока и хранении его при низких температурах скорость всплывания увеличивается из-за кристаллизации молочного жира и дестабилизации оболочки жировых шариков, в результате чего они образуют агломераты. Перемешивание молока во время охлаждения интенсифицирует этот процесс.

Замораживание молока в еще большей степени приводит к дестабилизации молочного жира вследствие повреждения оболочек жировых шариков. При производстве коровьего масла из молока или сливок, подвергавшихся замораживанию, наблюдается более высокий отход жира в пахту. Кроме того, из-за повреждения (дестабилизации) оболочки жирового шарика часть жидкого молочного жира может вытечь на поверхность оболочки. Такой жир называется «свободным» жиром, он наиболее доступен воздействию гидролитических ферментов. Стабильность эмульсии молочного жира зависит от стабильности оболочки жировых шариков, на которую влияет ее состав, pH оболочечного белка (наибольшая стабильность – при pH 6,0–7,0) и солевое равновесие молока. Кроме того, к нарушению стабильности эмульсии молочного жира может привести механическая обработка молока: перемешивание, перекачивание по трубопроводам, транспортирование, центробежная очистка и сепарирование. Дестабилизация эмульсии молочного жира может привести к расслоению на две непрерыв-

ные фазы: жировую и водную, и в конечном итоге – к эмульсии обратного типа «вода в масле». Такое явление желательно при производстве коровьего масла, технология которого построена на разрушении эмульсии молочного жира. При производстве таких продуктов, как питьевое молоко и сливки, кисломолочные продукты, сгущенные и сухие молочные продукты и т. д., дестабилизация молочного жира нежелательна во избежание появления «свободного» жира, ухудшения качества продукта и снижения его стойкости при хранении.

Натуральное гомогенизированное и негомогенизированное коровье молоко различается степенью дисперсности молочного жира: в негомогенизированном молоке количество жировых шариков размером до 2 мкм составляет 24%, от 2 до 5 мкм – 67, более 5 мкм – 9%; в гомогенизированном молоке доля жировых шариков размером до 1 мкм составляет 15%, 2 мкм – 60,3 мкм – 15, более 4 мкм – 10% (рис. 2.10). Размер и количество жировых шариков в свежем молоке непостоянны и зависят от породы животных, стадии лактации, рационов кормления и других факторов. Теоретически считается, что для исключения самопроизвольного отстаивания жира размер жировых шариков не должен превышать 1 мкм. Практически гомогенизацией достигается размер 1–2 мкм.

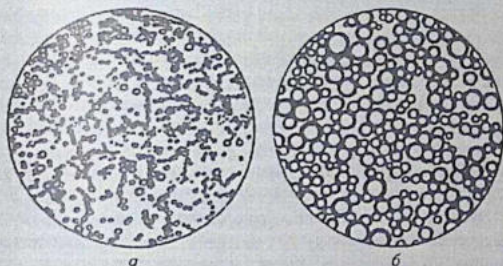


Рис. 2.10. Жировые шарики в гомогенизированном (а) и негомогенизированном (б) молоке

Устойчивость жировой эмульсии в молоке обеспечивается белково-лецитиновой оболочкой жировых шариков. Оболочка представляет собой гелеобразную пленку, плотно прилегающую к жировой глобуле (рис. 2.11).

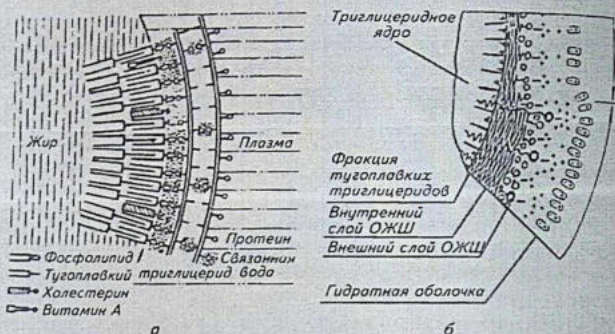


Рис. 2.11. Схематическое изображение структуры оболочки жирового шарика неомогенизированной (а) и оомогенизированной (б) молочной эмульсии

2.6.2. Структура оболочки жировых шариков

Молочный жир, находящийся в плазме молока в виде жировых шариков, образует с водой эмульсию типа «масло в воде». Эмульсия в простейшем случае представляет собой тонкодисперсную систему из двух не растворяющихся одна в другой жидкостей, причем одна из жидкостей в тончайшем распределении находится в другой. Свежевыдоенное молоко – двухфазная эмульсия. После охлаждения часть жира в жировых шариках выкристаллизовывается и образуется трех- и многофазная эмульсия. Кристаллизация жира с понижением температуры быстро прогрессирует, и молочный жир, диспергированный в плазме, представляет собой уже не эмульсию, а суспензию – систему твердых частиц в непрерывной жидкой фазе.

В молоке жировые шарики образуют полидисперсную эмульсию из-за различной величины жировых шариков. Размер и количество жировых шариков в молоке непостоянны и зависят от породы животного, стадии лактации, видов кормов и т. д. В среднем в 1 мл молока содержится от 1,5 млрд до 3 млрд жировых шариков. Диаметр жировых шариков колеблется от 0,1 до 10 мкм с преобладанием от 3 до 6 мкм. Размер жировых шариков имеет практическое значение, так как определяет степень перехода жира в продукт при производстве сливок, масла, сыра, творога и других молочных продуктов.

В стабильной эмульсии или суспензии частицы остаются диспергированными в жидкой фазе, что обеспечивается присутствием тонко-

го слоя (оболочки) на поверхности диспергированных частиц. Этот слой образует энергетический барьер на поверхности жировых шариков, предотвращая их сближение. Как тонкодисперсные частицы жировые шарики, совершая движение, аналогичное броуновскому, сталкиваются вследствие их большого количества, что неизбежно должно повлечь за собой их слияние с образованием более крупных жировых капель. Тем не менее, этого почти не происходит в молоке, не подвергнутому интенсивной механической и тепловой обработке.

Оболочка представляет собой комплексное соединение фосфолипидов с белками. Липидно-белковый комплекс является специфическим эмульгатором в жировых шариках. Кроме того, в оболочках присутствуют стерин, жирорастворимые витамины, каротин, ферменты (ксантиноксидаза, мембранная липаза, щелочная фосфатаза и др.), металлы (медь, железо).

С помощью соответствующей обработки оболочки частично или полностью удаляют с поверхности жировых шариков, и тогда последние приобретают способность соединяться (агрегировать) между собой, образуя жировые комочки. Агрегация жировых шариков происходит при сбивании сливок в производстве масла. В других случаях, например, при транспортировании молока, взбивании и фризировании смесей для мороженого, производстве сгущенных и сухих молочных продуктов, явление агрегации нежелательно.

Оболочка жирового шарика имеет размер около 10–15 нм и состоит из нескольких слоев: мономолекулярных фосфолипидов, белка и гидратной воды. К жировой глобуле прилегает мономолекулярный фосфолипидный слой, основным компонентом которого является лецитин, причем углеводородные цепи фосфолипидов находятся в жировой фазе, а гидрофильные остатки направлены к водной фазе. С фосфолипидным слоем тесно связан второй слой – слой оболочечного белка. Он является главным элементом оболочки.

Эмульгирующие свойства белков усиливаются благодаря комплексообразованию с фосфолипидами. Предполагается, что оболочечные белки могут быть прочно встроенными во внутренний липидный слой оболочки жирового шарика, пронизывать ее или располагаться на внешней поверхности оболочки. Оболочечные белки представляют собой, как правило, гликопротеиды молекулярной массой от 15000 до 240000, содержащие 15–50% углеводов и характеризующиеся различной растворимостью в воде. Некоторые из них обладают свойствами ферментов. Молекулы гликопротеидов пронизывают всю оболочку: они находятся в контакте как с водной фазой, так и с фазой тугоплавких триглицеридов. Гидрофобные белки, основную часть которых составляет гликопротеид с молекулярной массой

60000, прочнее всего связаны с жировой глобулой. Гидрофильные низкомолекулярные полипептиды в основном находятся в поверхностном слое оболочки. Компоненты поверхностного слоя оболочки слабо сцеплены между собой и легко десорбируют в плазму.

Оболочка жирового шарика представляет собой гелеобразную пленку, плотно прилегающую к жировой глобуле и диффузно переходящую в золь с удалением от нее.

Условно можно выделить два слоя оболочки: внутренний и внешний, хотя четкой реальной границы между ними не существует. Структура внутреннего слоя оболочки определяется влиянием жировой фазы, а внешнего — водной. Несмотря на различие структур, внутренний и внешний слои оболочки могут иметь идентичный состав.

Внутренний слой оболочки жирового шарика — сплошной гелеобразный с трехмерной структурой — состоит из развернутых макромолекул белков и липидно-белковых комплексов, высоко ассоциированных между собой в основном за счет межмолекулярных гидрофобных связей при содействии водородных связей и электростатического притяжения.

Внешний слой оболочки жирового шарика — диффузный, рыхлый, подвижный, сильно сальватированный дисперсионной средой — состоит из макромолекул белков или липидно-белковых комплексов, свернутых в глобулы с прочными гидратными оболочками. Структура этих глобул обусловлена внутримолекулярными гидрофобными взаимодействиями при содействии водородных связей и электростатического притяжения. Она обеспечивает наименьший контакт неполярных групп с водой.

Вокруг каждой полярной группы, расположенной на наружной поверхности оболочки жирового шарика и обращенной в сторону водной фазы, ориентируется слой против ионов, в основном ионов кальция, что и приводит к возникновению двойного электрического слоя с характерными для него адсорбционной и диффузной частями. Сильно гидратированные противоионы диффузной части ДЭС образуют гидратную оболочку, что и обуславливает высокую лиофильность поверхности оболочки жирового шарика.

Чем ближе к водной фазе расположены элементы внешнего слоя оболочки, тем в большей степени выражена их мицеллярная структура, выше плотность поверхностного заряда и прочнее гидратная оболочка, тем слабее они связаны между собой и легче десорбируют в плазму при внешнем воздействии.

Оболочка жирового шарика плотно скреплена с ядром жира. Об этом свидетельствует тот факт, что в гомогенизированных сливках обнаруживаются фрагменты натуральной оболочки. Оболочку жи-

ровых шариков цельного негомогенизированного молока называют натуральной. После гомогенизации вновь образовавшиеся жировые шарики приобретают новую оболочку – адсорбционную.

В состав натуральных оболочек жировых шариков негомогенизированного молока входят белки, гликопротеиды, фосфолипиды, гликолипиды, холестерин, ферменты, β -каротин, витамин А, токоферолы и другие вещества.

Все компоненты оболочки распределены асимметрично и соприкасаются (хотя бы частично) и с жировой, и с водной фазой. Липиды в оболочке (из них 40–90% фосфолипидов) распределяются равномерно.

В оболочке 21% протеидов, из которых 5% составляют гликопротеиды. Молекулы гликопротеидов пронизывают всю оболочку жирового шарика и играют основную роль в ее стабилизации.

В оболочке находятся как гидрофобные, так и гидрофильные белки. Гидрофобные белки большей частью находятся во внутреннем слое оболочки, но частично выводят свои функциональные группы на поверхность оболочки в сторону водной фазы. Гидрофильные белки представляют собой низкомолекулярные полипептиды, которые находятся во внешнем слое оболочки. Они слабо сцеплены между собой и легко десорбируют в плазму при проявлении внешнего воздействия на оболочку. При разрушении оболочки эти белки первыми выводятся из внешнего слоя. Толщина натуральной оболочки жирового шарика 10–15 нм (иногда 20–30 нм). Толщина адсорбционной оболочки 8–10 нм.

Применение механического воздействия при гомогенизации приводит к разрушению натуральной оболочки и дроблению крупных жировых шариков на более мелкие. Вместе с тем мелкие, вновь образующиеся жировые шарики, снова должны быть покрыты оболочкой, иначе будет нарушена стабильность жировой эмульсии в молоке, что приведет к образованию «свободного» жира.

Площадь поверхности жировых шариков после гомогенизации увеличивается в 10 раз. В негомогенизированном молоке площадь поверхности жировых шариков в 1 мл составляет 1,2–1,5 м². В гомогенизированном молоке она достигает 15 м². В этом случае начинает формироваться адсорбционная оболочка. Адсорбционная оболочка формируется за счет компонентов натуральной оболочки и адсорбируемых компонентов плазмы молока.

В первую очередь на построение адсорбционной оболочки идет казеин молока. В результате этого в плазме молока содержание казеина уменьшается на 4–8%, а в плазме сливок – на 20–60%. Это играет основную роль в снижении стабильности белков гомогенизированного молока при нагревании.

Формирование адсорбционной оболочки происходит следующим образом: под действием гидромеханических сил, возникающих в гомогенизирующем устройстве гомогенизатора, кроме разрушения оболочки и дробления жировых шариков претерпевает изменение и структура казеина (рис. 2.12).

Мицелла казеина представляет собой рыхлый агрегат субмицелл, разделенный прослойками дисперсионной среды. Сцепление субмицелл в мицелле обусловлено силами межмолекулярного притяжения, возникающими между гидрофобными участками поверхностей контактирующих субмицелл при содействии других видов связей: валентных с помощью коллоидного фосфата кальция, водородных и электростатического притяжения.

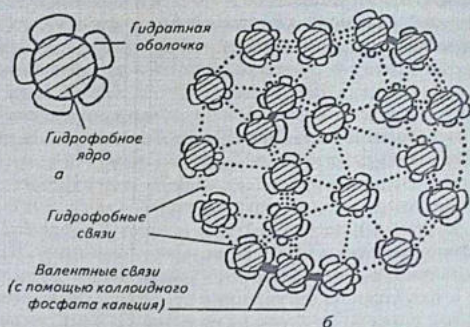


Рис. 2.12. Схематичное изображение субмицеллы (а) и мицеллы (б) казеина

Современные исследования позволяют предположить, что мицеллы казеина разрушаются по наиболее слабым местам — коагуляционным контактам между субмицеллами. Сначала разрушается четвертичная структура казеина с образованием фрагментов мицелл казеина, что приводит к изменению гидрофильно-гидрофобного баланса казеиновых частиц, в результате чего они активизируются. Эти фрагменты обладают определенной поверхностной активностью вследствие «мозаичности» своих внешних поверхностей, сочетающих гидрофильные и гидрофобные участки, и ненасыщенности молекулярных сил на последних. Они тяготеют к образованию соединений между собой при столкновении в процессе теплового движения, что приводит к восстановлению мицелл, либо адсорбируются на

поверхности жировых шариков. Здесь они оказываются под воздействием молекулярных сил на границе раздела фаз (жир-плазма). В результате происходит перестройка третичной и вторичной структур казеина. Макромолекулы белков, адсорбированные на границе раздела фаз, претерпевают поверхностную денатурацию, конформационные изменения, которые выражаются в некотором разворачивании полипептидных цепей под действием молекулярных сил. Поверхностная денатурация белков необратима, поскольку сопровождается глубокими изменениями третичной структуры адсорбированных молекул. Вследствие этого большинство гидрофобных групп белков ориентировано к неполярной фазе, а остальные образуют как бы свободные петли и складки. Углеводород на границе раздела фаз способствует процессу более глубокого разворачивания белковых макромолекул. Это приводит к перестройке вторичной структуры казеина – разворачиванию полипептидных белковых цепей и «растеканию» их по поверхности жировой глобулы, что обеспечивает формирование гелеобразного межфазного адсорбционного слоя на поверхности раздела фаз жир-плазма.

Кроме фрагментов мицелл казеина, на поверхности жировых шариков адсорбируются фосфолипиды, низкомолекулярные фракции казеина (β -казеин) и другие компоненты плазмы молока. В случае повышенного содержания β -казеина в адсорбционной оболочке жировых шариков в гомогенизированном молоке и сливках снижается термоустойчивость, поскольку β -казеин является наиболее гидрофобным белком из всех фракций казеина и его повышенное содержание в адсорбционных оболочках обуславливает их низкую агрегативную устойчивость.

Сывороточные белки наиболее полно участвуют в построении адсорбционного слоя на поверхности жировых шариков после гомогенизации – в том случае, если гомогенизируется пастеризованное молочное сырье. Это связано с тем, что сывороточные белки в пастеризованном молочном сырье частично или наиболее полно (в зависимости от температуры пастеризации) находятся в денатурированном состоянии. При этом активизируются сульфгидрильные группы сывороточных белков, обеспечивая тем самым агрегацию сывороточных белков между собой и с казеином за счет образования дисульфидных связей и с сохранением высокой лиофильности внешних поверхностей, что позволяет им участвовать в построении оболочки жировых шариков.

Если гомогенизируется непастеризованное молочное сырье, то сывороточные белки не участвуют или участвуют в небольшой степени в построении адсорбционной оболочки жировых шариков. Это можно объяснить следующими причинами. Молочные белки в плазме

находятся в поверхностно-неактивном состоянии. Их активирование в процессе гомогенизации, т. е. выявление гидрофобных зон, возможно лишь путем механического разрушения. При давлении гомогенизации 5 МПа разрушаются частицы диаметром более 300 нм, а при давлении 40 МПа – частицы диаметром 140 нм. Исходя из того, что размеры коллоидных частиц сывороточных белков находятся в пределах 20–50 нм, можно сделать вывод о невозможности их разрушения путем механического воздействия, поэтому активизации молекул сывороточных белков непастеризованного молочного сырья и адсорбции их на поверхности раздела жир–плазма не происходит. Наоборот, при гомогенизации пастеризованного молочного сырья денатурированные сывороточные белки, находящиеся в агрегированном состоянии между собой и казеином, разрушаются, активизируются и участвуют в построении адсорбционной оболочки жировых шариков.

Важный фактор определения свойств и структуры адсорбционных оболочек – температура гомогенизации. Поскольку при проведении гомогенизации молочный жир должен находиться в жидком состоянии, температура молочного сырья должна быть выше 37 °С. При температуре 40–50 °С формируются толстые и рыхлые адсорбционные оболочки, которые приводят к ассоциации оболочечных белков между собой, что влечет за собой образование скоплений жировых шариков и снижает эффект гомогенизации.

При температуре выше 75 °С фрагменты разрушенных казеиновых мицелл больше агрегируют между собой, чем стремятся адсорбироваться на поверхность раздела фаз жир–плазма. Поэтому адсорбционная оболочка формируется с неровной, шероховатой поверхностью, с выступающими в водную фазу крупными фрагментами мицелл казеина, что также создает условия для образования скоплений жировых шариков.

2.6.3. Гомогенизация молока и молочных продуктов

Гомогенизация молока и молочных продуктов осуществляется в специальных аппаратах – гомогенизаторах. Основным способом гомогенизации в молочной промышленности является продавливание молока через узкую щель с помощью определенного давления. При этом применяются гомогенизаторы низкого и высокого давления. Наибольшее применение нашли гомогенизаторы высокого давления, или клапанные гомогенизаторы, создающие максимальный эффект гомогенизации.

Клапанный гомогенизатор – это аппарат высокого давления, на нагнетательной линии которого установлен гомогенизирующий клапан. Последний с помощью пружины или гидравлического поршня

прижат к седлу клапана. Для проведения гомогенизации молоко поступает в насосный блок гомогенизатора, где поршневым насосом, совершающим возвратно-поступательное движение, создается высокое давление p_0 . Уровень этого давления зависит от противодействия p_1 , определяемого расстоянием между клапаном и седлом в гомогенизирующей головке. Поршни насоса изготовлены из высокопрочного материала и оснащены двойными уплотнениями. В пространство между уплотнениями подается либо вода для охлаждения поршней, либо горячий конденсат для сохранения асептических условий при производстве стерилизованного молока.

Давление гомогенизации автоматически поддерживается неизменным и может достигать 10–20 МПа в зависимости от вида молочного продукта, подвергающегося гомогенизации. Давление масла на гидравлический поршень и давление гомогенизации на клапан уравнивают друг друга.

Диспергирование жировых шариков происходит в гомогенизирующем устройстве гомогенизатора высокого давления в щели, образующейся между седлом и клапаном за счет того, что давление гомогенизации p_0 начинает превышать давление масла на гидравлический поршень (рис. 2.13). Поток молока проникает в эту щель под высоким давлением. Размер щели в сто раз превышает размер жировых шариков, а скорость течения потока молока (100–400 м/с) очень велика за счет высокого давления, поэтому гомогенизация происходит за 10–15 мкс.

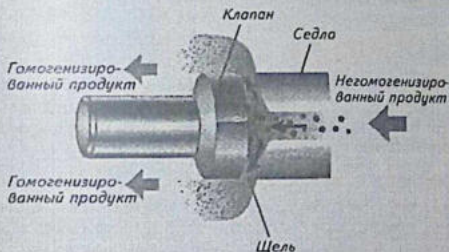


Рис. 2.13. Схема прохождения жировых шариков молока через щель размером 0,01 мм клапанного гомогенизатора

Теоретически механизм гомогенизации в клапанном гомогенизаторе объясняли многие исследователи. По Н.В. Барановскому, жировой шарик в канале седла диаметром d (рис. 2.14) движется с малой начальной скоростью v_0 (несколько метров в секунду). Затем он изменяет на-

правление и продвигается к пограничному сечению между седлом и клапаном с несколько большей скоростью v'_0 . В клапанной щели жировой шарик приобретает еще более высокую скорость v_1 ($v_1 > v'_0 > v_0$), составляющую несколько сотен метров в секунду. Градиент скорости при ламинарном потоке больше, чем при турбулентном.

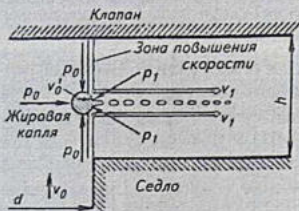


Рис. 2.14. Схема гомогенизации по Н.В. Барановскому:

p_0 – давление на жировой шарик, создаваемое поршневым насосом; p_1 – противодействие, действующее на жировой шарик в гомогенизирующей щели; v_0 – скорость жирового шарика в канале седла клапана; v'_0 – скорость жирового шарика между седлом и клапаном; v_1 – скорость жирового шарика в клапанной щели гомогенизатора; d – диаметр канала седла; h – высота клапанной щели

При переходе от малых скоростей к высоким в жировых шариках происходят внутренние деформации. Шарик может постепенно вытягиваться в нить преимущественно на входе в клапанную щель и разрываться там на мелкие капельки либо совершать вращательное движение, в результате чего возникают центробежные силы, достаточные для преодоления сил поверхностного натяжения.

Быстрое вытягивание жировой капли происходит благодаря перепаду давлений между давлением гомогенизации p_0 и давлением p_1 , действующим на жировые шарики в зоне высоких скоростей, причем p_0 значительно больше p_1 . Происходит сдавливание жирового шарика, и жидкий молочный жир выдавливается из него в виде капли.

По теории Н.В. Барановского, эффективность гомогенизации зависит прежде всего от скорости потока v_1 при входе жидкости в клапанную щель. Чем выше скорость v_1 , тем интенсивнее вытягивается жировая капля в нить, тем тоньше эта нить и, следовательно, меньше размеры образующихся капель. В свою очередь, скорость потока v_1 зависит от перепада давлений ($\Delta p = p_0 - p_1$). При повышении давления скорость увеличивается пропорционально квадратному корню из перепада давлений. Н.В. Барановским предложена формула приближенного расчета давления гомогенизации для получения заданного размера жирового шарика: $d_{ср} = 12/\sqrt{\Delta p}$.

Теория разрушения жировых шариков турбулентными водоворотами («микровихрями») основана на том, что в жидкости, движущейся с высокой скоростью, возникает большое количество микропотоков. Если турбулентный микропоток сталкивается с соразмерной ему каплей, последняя разрушается.

Кавитационная теория объясняет механизм дробления жировых шариков в клапанном гомогенизаторе следующим образом. Капельки жира разрушаются ударными волнами, возникающими при взрывах паровых пузырьков. Согласно этой теории, гомогенизация происходит при выходе молока из гомогенизирующей щели.

Скорость потока молока при прохождении узкой гомогенизирующей щели резко возрастает. Она будет возрастать до тех пор, пока статическое давление не снизится до такого уровня, при котором жидкость закипает. Максимальная скорость потока зависит главным образом от давления на входе в гомогенизирующую щель. Когда молоко покидает щель, скорость потока снижается, а давление начинает расти. Кипение жидкости прекращается, и паровые пузырьки взрываются.

Кавитационная теория объясняет механизм гомогенизации на сепараторах-кларификаторах, предназначенных для одновременной очистки и гомогенизации молока. Попадающее в сепаратор молоко растекается по межтарелочным пространствам, где осуществляется отделение сливок. Последние попадают в камеру с гомогенизирующим неподвижным диском, где происходит дробление жировых шариков. Между отверстиями – шипами гомогенизирующего диска – образуются характерные кавитационные зоны. В гомогенизирующей камере возникает вакуум, который приводит к кипению жидкости и возникновению паровых пузырьков. При мгновенном разрушении пузырьков создается сверхвысокое давление, которое и является причиной дробления жировых шариков. Дисперсность молочного жира после обработки на сепараторах-кларификаторах невелика, поэтому этот способ дробления жировых шариков не нашел широкого применения.

Повысить дисперсность эмульсии молочного жира можно с помощью эмульсоров, в которых происходит тонкое диспергирование жидкости. Действуют эмульсоры либо по принципу центробежного насоса, либо по типу устройства для диспергирования струйного типа. Такой способ можно применять для гомогенизации жирных смесей, например, сливок при производстве сметаны, т. е. там, где рекомендуется низкое давление, чтобы не подвергать продукт значительному механическому воздействию во избежание появления «свободного» молочного жира. Эффективность гомогенизации таким способом невелика.

Диспергирование жировых шариков может происходить и при ультразвуковой обработке молока. Достаточно интенсивные ультразвуковые колебания вызывают кавитацию – разрывы сплошной среды и образование пустот, закрывающихся при больших перепадах давления. Ультразвуковые колебания могут являться причиной диспергирования жировых шариков, причем эффективность гомогенизации зависит от числа кавитационных ударов и количества жировых шариков, проходящих через зону воздействия этих ударов. Существует другое мнение, что диспергирование жировых шариков при обработке молока ультразвуком происходит не от явления кавитации, а от того, что ультразвуковая волна, пронизывая жировой шарик в разных его точках, вызывает различные ускорения, приводящие к возникновению силы, стремящейся разорвать жировой шарик.

В настоящее время разрабатываются роторно-пульсационные стерилизаторы-гомогенизаторы – аппараты, обладающие одновременно и тепловым, и гомогенизирующим действием. В корпусе аппарата на валу установлен ротор в виде диска, на торцах которого имеются коаксиальные цилиндры с прорезями. Ротор с двух сторон охватывает статор, установленный таким образом, чтобы создавать акустические воздействия различной частоты и амплитуды на обрабатываемый продукт. Эти акустические воздействия и являются причиной диспергирования жировых шариков при прохождении молочного сырья в зазоре между ротором и статором. При этом наибольшая эффективность процесса достигается при возникновении резонансных колебаний ротора и статора, что обеспечивается подбором скорости вращения ротора, его диаметра и зазора (рис. 2.15) между ротором и статором. На торцах статора, обращенных к ротору, установлены коаксиальные цилиндры с проточными каналами.

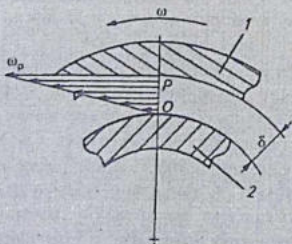


Рис. 2.15. Элемент зазора между статором и ротором в стерилизаторе-гомогенизаторе:

1 – ротор; 2 – статор; δ – зазор между ротором и статором; ω – угловая скорость вращения ротора; $(P - \omega_p - O)$ – этора скоростей движения жидкости в зазоре между ротором и статором

2.6.4. Влияние различных факторов на эффективность гомогенизации

Эффективность гомогенизации зависит, прежде всего, от давления и температуры, при которых проводится гомогенизация. При повышении давления увеличивается механическое воздействие на продукт, при этом уменьшается средний диаметр жировых шариков. При давлении гомогенизации 15 МПа средний диаметр равен 1,43 мкм и эффективность гомогенизации составляет 74%. При давлении гомогенизации 20 МПа средний диаметр равен 0,97 мкм и эффективность гомогенизации равна 80%. Достаточно наглядно зависимость размеров жировых шариков от давления гомогенизации показана на рис. 2.16.

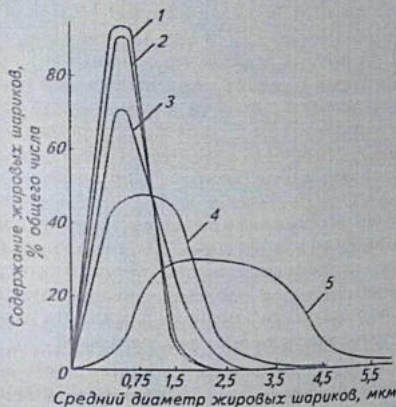


Рис. 2.16. Дифференциальная кривая распределения жировых шариков по размерам в зависимости от давления гомогенизации молока:

1 — при давлении 20 МПа; 2 — при давлении 15 МПа; 3 — при давлении 10 МПа; 4 — при давлении 5 МПа; 5 — молоко негомогенизированное

Следует отметить, что средний размер жировых шариков при гомогенизации цельного молока и сливок с повышением давления гомогенизации неодинаков. В цельном молоке он больше, чем в сливках. Некоторые исследователи объясняют это явление более

высокой турбулентностью потока цельного молока в клапанной щели гомогенизатора, чем у сливок. Это обеспечивает более высокую частоту столкновений первичных (образовавшихся из исходных) жировых шариков в цельном молоке и более высокую вероятность их коалесценции с образованием вторичных (фиксируемых после гомогенизации) жировых шариков. Вместе с тем дисперсность сливок с массовой долей жира выше 20% с увеличением давления гомогенизации растет медленно. Это связано с возрастанием вероятности коалесценции первичных жировых шариков, еще не покрытых адсорбционными оболочками, при увеличении их концентрации.

Седиментационная устойчивость молочных эмульсий с повышением давления гомогенизации увеличивается до определенного значения, после которого она приобретает стабильное значение, либо может начать снижаться. В связи с этим рекомендовано использование давления гомогенизации до 25 МПа (оптимальное – в диапазоне 10–20 МПа). Существует зависимость давления гомогенизации от массовой доли жира в молочном сырье, подвергаемом гомогенизации. С повышением массовой доли жира в сырье образуются скопления первичных жировых шариков из-за их высокой концентрации в сочетании с низкой концентрацией плазменных ПАВ, которые участвуют в построении адсорбционной оболочки. Такие скопления трудно разрушаются даже при применении второй ступени гомогенизации. Наличие скоплений жировых шариков снижает термоустойчивость гомогенизированного молочного сырья. На это нужно обращать внимание, выбирая значения давления гомогенизации при производстве стерилизованного молока и особенно – стерилизованных сливок. Т.В. Владыкиной предложены формулы для расчета давления гомогенизации сливок с различной массовой долей жира:

$$p = 153,0 / (\text{ж}_{\text{сл}} - 3,0), \quad (15)$$

где p – давление в одноступенчатом гомогенизаторе, МПа; $\text{ж}_{\text{сл}}$ – массовая доля жира в сливках в интервале 6–25% (преимущественно 12–18%);

$$p_1 = 181,0 / (\text{ж}_{\text{сл}} - 3,3); \quad (16)$$

$$p_2 = 0,3p_1, \quad (17)$$

где p_1 – давление на первой ступени двухступенчатого гомогенизатора, МПа; p_2 – давление на второй ступени гомогенизатора, МПа; $\text{ж}_{\text{сл}}$ – массовая доля жира в сливках в интервале 6–30% (преимущественно 12–25%).

Рекомендуемое давление при гомогенизации различных молочных эмульсий зависит от состава молочного сырья и вида получаемых молочных продуктов. С повышением массовой доли жира и сухих веществ давление гомогенизации необходимо снижать. Это

связано с тем, что при гомогенизации формирование оболочек жировых шариков идет медленнее, чем в молоке, так как компонентов, требующихся для построения оболочечного вещества, меньше и часть свободного жира может остаться незащищенной оболочкой. Чтобы не допустить появления «свободного» жира и повысить эффективность гомогенизации, рекомендуется проводить гомогенизацию молочных смесей с различной массовой долей жира под разным давлением. В зависимости от массовой доли жира в готовом продукте рекомендуемое давление гомогенизации сливок, предназначенных для производства сметаны, находится в пределах 7–12 МПа. С повышением массовой доли жира давление снижают.

Для образования новых оболочек жировых шариков в сливках соотношение СОМО/жир должно быть больше 0,6–0,85.

При добавлении СОМО к гомогенизируемому молочному сырью повышается стабильность белков к нагреванию, что объясняется возрастанием отношения СОМО/жир. Образование жировых скоплений, или «гроздьев», значительно снижается при двухступенчатой гомогенизации. Давление на второй ступени должно быть невысоким, иначе снижается устойчивость белков молока к нагреванию ($p_2/p_1 = 0,2$).

При производстве мороженого давление гомогенизации (7–15 МПа) смесей, предназначенных для производства мороженого, также находится в зависимости от массовой доли жира, уменьшаясь по мере возрастания последней.

При производстве сгущенных и сухих молочных консервов гомогенизация – необходимая технологическая операция, проводимая для повышения стойкости консервов при хранении. Давление гомогенизации варьируется в широких пределах: от 5–6 МПа (сгущенная молочная смесь для производства сухих сливок) до 17–19 МПа. При производстве стерилизованных молочных продуктов рекомендуемое давление гомогенизации находится в диапазоне 20–25 МПа.

На эффективность гомогенизации оказывает влияние температура, при которой она проводится. Считается, что молочные смеси можно гомогенизировать в широком диапазоне температур, начиная с температуры плавления молочного жира (37 °С) и заканчивая высокими температурами пастеризации (85–90 °С).

Эффективность гомогенизации возрастает с повышением температуры до определенного предела. Оптимальной температурой гомогенизации можно считать 60–70 °С, при которой образуется тонкая прочная адсорбционная оболочка жировых шариков, не имеющая активных поверхностных зон и не тяготеющая к скоплению образований жировых шариков между собой. Особенно заметно

повышение эффективности гомогенизации с повышением температуры при гомогенизации высокожирных молочных смесей.

С выбором температуры гомогенизации косвенно связан вопрос о месте гомогенизации в технологической схеме того или иного молочного продукта. Гомогенизация молочных смесей до пастеризации имеет преимущества с точки зрения микробной чистоты получаемого готового продукта, так как устраняет возможность повторного бактериального обсеменения. При этом молочные смеси нагреваются в секции регенерации пастеризационно-охладительной установки до температуры 60–65 °С, направляются на гомогенизацию и затем вновь поступают на пастеризационно-охладительную установку для пастеризации. Эта схема гомогенизации предпочтительнее других схем, но имеет свои недостатки. В результате гомогенизации стабильность белков плазмы молока к нагреванию снижается, так как изменяется соотношение казеина и сывороточных белков в сторону последних. Этот факт нужно учитывать при производстве молочных продуктов с высокотемпературной обработкой (стерилизованное молоко, кисломолочные напитки и т. д.). Там, где используется высокотемпературная обработка молочных смесей, гомогенизацию лучше проводить после пастеризации или высокотемпературной обработки. В первом случае она проводится либо при температуре 60–65 °С, либо при температуре пастеризации; во втором – на асептическом гомогенизаторе при температуре около 70 °С.

Гомогенизация молочных смесей после пастеризации приводит к повышению эффективности процесса, так как дисперсность молочного жира выше, чем при гомогенизации до пастеризации.

Кроме давления и температуры, на эффективность гомогенизации влияют такие свойства молочного сырья, как плотность, вязкость, кислотность. Гомогенизация молочного сырья с повышенной массовой долей жира и рН ниже 6,6 значительно снижает ее эффективность. При гомогенизации молочного сырья повышенной плотности и вязкости для большей эффективности процесса необходимо снижать давление гомогенизации либо повышать температуру.

2.6.5. Изменение состава и свойств молочного сырья при гомогенизации

В процессе гомогенизации количество жировых шариков увеличивается в 125–1000 раз, за счет чего площадь поверхности возрастает в 10 раз. Оболочка новых жировых шариков формируется за счет плазмы молока – белков, фосфолипидов и др. Изменяется фракционный состав казеина, претерпевают изменения сывороточные белки и т. д. Это приводит к изменению состава и свойств молочного сырья.

Жировая фаза. В результате гомогенизации уменьшаются размеры жировых шариков и увеличивается их общее число. Это является причиной повышения кинетической устойчивости дисперсии молочного жира.

В первую очередь на общий средний размер жировых шариков в молочном сырье влияет давление гомогенизации (см. подразд. 2.6.4). Распределение жировых шариков по размерам в зависимости от давления гомогенизации показано на рис. 2.16. Оптимальное давление гомогенизации находится в пределах от 10 до 20 МПа. Кроме давления на степень дисперсности жировых шариков при гомогенизации влияют температура процесса, конструкция гомогенизатора, массовая доля жира в молочном сырье и прочие факторы.

Нарушение целостности оболочки жировых шариков в результате гомогенизации молочного сырья приводит к выделению жидкого жира на поверхность оболочки. Увеличение количества свободного жира приводит к дестабилизации молочной жировой эмульсии. При повышении давления и температуры гомогенизации количество «свободного» жира уменьшается. Это говорит о прочности вновь созданных оболочек жировых шариков. Стабильность эмульсии молочного жира снижается с повышением массовой доли жира. Особенно это касается сливок. Выделение «свободного» жира на поверхность жирового шарика вызывает его гидрофобизацию. Это способствует началу взаимного притяжения жировых шариков. При определенных условиях – повышении массовой доли жира в молочном сырье и повышении при этом давления гомогенизации, понижении температуры гомогенизации – могут возникать жировые скопления. Поэтому гидрофобизация поверхности жирового шарика, частичная или полная, может рассматриваться как первая стадия деэмульгирования молочного жира. Так как это явление нежелательно для многих молочных продуктов, нужно правильно выбирать режимы гомогенизации при их производстве.

Образование жировых скоплений в гомогенизированном молочном сырье зависит от количества растворимого кальция в нем. При повышении давления гомогенизации оно увеличивается. Добавление цитрата или фосфата натрия перед гомогенизацией приводит к уменьшению содержания растворимого кальция в молочном сырье и, соответственно, уменьшает образование жировых скоплений.

Белки молока. При гомогенизации молочного сырья молочные белки, особенно казеин, претерпевают значительные изменения. Об этом свидетельствует уменьшение стойкости гомогенизированного молочного сырья к воздействию этилового спирта, сычужного фермента, солей кальция, повышенной температуры и т. д. Наибольшее

воздействие на белки при гомогенизации оказывает температура, при которой она проводится.

При нагревании гомогенизированной молочной эмульсии в первую очередь утрачивают свою агрегативную устойчивость сывороточные белки. Они объединяются в агрегаты, большая часть которых под действием ван-дер-ваальсовых сил осаждается на гидрофобные участки поверхностей оболочек жировых шариков, мицелл казеина и посторонних включений. При подъеме температуры гомогенизации выше 75 °С в результате ряда физико-химических процессов изменяются свойства адсорбционных оболочек жировых шариков и мицелл казеина, что ведет к утрате ими агрегативной устойчивости.

В гомогенизированных молочных эмульсиях жировые шарики, являющиеся носителями оболочечного казеина, утрачивают агрегативную устойчивость при нагревании значительно раньше по времени, чем мицеллы плазменного казеина, и в дальнейшем выступают в роли коагулирующих частиц. Жировые шарики в результате гомогенизации приобретают избыток свободной поверхностной энергии. Казеин, адсорбированный на поверхности жировых шариков, претерпевший поверхностную денатурацию в результате механического воздействия при гомогенизации, наиболее подвержен температурным воздействиям. При повышенных температурах гомогенизации и формировании в связи с этим толстого, рыхлого оболочечного слоя с выступающими фрагментами мицелл казеина начинается образование агрегатов таких активированных жировых шариков между собой. Накопление рыхлых агрегатов жировых шариков и возникновение достаточного числа контактов между ними приводит к гелеобразованию.

Поверхностно денатурированный казеин, локализованный на жировых шариках, является инициатором тепловой коагуляции гомогенизированного молочного сырья. Мицеллы плазменного казеина при этом сохраняют высокую агрегативную устойчивость, отгаликуются при сближении между собой и с жировыми шариками. Они как бы механически захватываются ячейками структуры сгустка, образованного скоплениями жировых шариков.

Под воздействием высокого давления при гомогенизации мицеллы плазменного казеина также утрачивают свою агрегативную устойчивость и увеличивают число коагулирующих частиц в системе молочного сырья наряду с агрегатами жировых шариков. Под воздействием низкого давления (5 МПа) происходит диспергирование мицелл казеина и снижение среднего диаметра казеиновых мицелл. Считается, что преобладает процесс увеличения среднего диаметра казеиновых мицелл при гомогенизации.

Таким образом, процессы, происходящие под воздействием гидромеханических сил при гомогенизации с одновременным тепловым воздействием, приводят к снижению термоустойчивости молочного сырья.

Вместе с тем снижения стабильности белков в гомогенизированном молочном сырье с небольшой массовой долей жира (8%) практически не наблюдается. Повышение массовой доли жира в гомогенизированном молочном сырье заметно влияет на снижение стабильности белков при нагревании. Снижению стабильности белков в гомогенизированном молочном сырье способствуют следующие факторы: увеличение массовой доли жира, повышение давления гомогенизации, увеличение перепада температур предварительного нагрева молочного сырья и температуры гомогенизации, увеличение концентрации растворимых солей кальция (в результате повышения температуры), повышение кислотности молочного сырья.

Изменение свойств молочного сырья. Повышение вязкости молочного сырья обусловлено увеличением общей поверхности жировой фазы, а также возрастанием адсорбции белков молока на оболочках жировых шариков. При выдержке гомогенизированного молока его вязкость возрастает. Это связано в значительной степени с образованием скоплений жировых шариков. При нагревании до 60 °С вязкость гомогенизированного молока снижается, при дальнейшем повышении температуры наблюдается небольшое повышение вязкости из-за частичной денатурации белков.

Вязкость гомогенизированного молочного сырья в большой степени зависит от массовой доли жира. При ее повышении до 6% и выше вязкость значительно возрастает. Это связано с образованием большого количества агрегатов жировых шариков при гомогенизации высокожирного молочного сырья. В процессе двухступенчатой гомогенизации при высоких температурах вязкость снижается. Таким образом, вязкость молочного сырья при гомогенизации можно целенаправленно понижать или повышать в зависимости от способа производства молочных продуктов (в стерилизованном молоке высокая вязкость не нужна; при производстве кисломолочных продуктов и сметаны, вырабатываемых резервуарным способом, повышение вязкости необходимо).

Гомогенизация молочного сырья влияет на *поверхностное натяжение*. При низких температурах гомогенизации поверхностное натяжение уменьшается. Это объясняется развитием липолиза, что приводит к прогорканию молочного сырья и молочных продуктов, произведенных из него. При температуре гомогенизации молочного сырья

выше 55 °С поверхностное натяжение увеличивается. Кроме того, на поверхностное натяжение влияет массовая доля жира в молочном сыре: с ее повышением поверхностное натяжение при гомогенизации сначала увеличивается, но при хранении снова уменьшается.

При гомогенизации сырого молочного сыра жирные кислоты, образующиеся вследствие липолиза, понижают поверхностное натяжение. Вместе с тем новые оболочки диспергированных жировых шариков формируются из поверхностно-активных веществ (белков плазмы молочного сыра), с уменьшением концентрации последних поверхностное натяжение повышается. При гомогенизации пастеризованного молочного сыра, где липаза инактивирована частично или полностью, действует только второй фактор. Поверхностное натяжение гомогенизированного молочного сыра повышается при добавлении СОМО или при давлении выше 21,1 МПа.

В гомогенизированном сыром молоке отмечается повышение *титруемой кислотности*. Если молоко сразу пастеризуют, то кислотность немного повышается и при дальнейшей выдержке молока возрастает незначительно. При гомогенизации пастеризованного молока титруемая кислотность не изменяется. Если к пастеризованному гомогенизированному молоку добавить хотя бы небольшое количество сырого молока, то титруемая кислотность повышается. Если молоко перед гомогенизацией нагреть до 63 °С, то значительного повышения кислотности не наблюдается. Повышение титруемой кислотности в гомогенизированном молоке объясняется воздействием активной липазы на молочный жир, так как в присутствии активной липазы гомогенизация влияет на концентрацию водородных ионов. Если перед гомогенизацией молоко нагревают до температуры не выше 48,8 °С, то снижение pH наступает немедленно. Если нагревание перед гомогенизацией происходит до температуры выше 65,5 °С, то изменение pH наступает только после 12–24 ч выдержки.

Происходит изменение других свойств молочного сыра, в частности, *органолептических*. После гомогенизации молочное сырье приобретает белый цвет, интенсивность которого пропорциональна дисперсности жировых шариков. Интенсивный белый цвет, равномерность его распределения и стабильность улучшают внешний вид гомогенизированного сыра. Оно менее прозрачно и сильнее рассеивает свет, что также зависит от дисперсности молочного жира, так как уменьшается средняя глубина проникновения световых лучей в молоко, а вместе с тем и их поглощение.

Жир в гомогенизированных сливках отвердевает медленнее, чем в негомогенизированных. Следовательно, степень дисперсности

молочного жира влияет на скорость и полноту его кристаллизации. Это объясняется тем, что кристаллизация молочного жира происходит локально в отдельных жировых шариках, и при более высокой их дисперсности процесс замедляется. Кроме того, кристаллизация в какой-то мере замедляется наличием оболочек жировых шариков.

Гомогенизация воздействует на содержание связанной воды в молоке, сливках и смесях для мороженого: оно уменьшается пропорционально давлению. При двухступенчатой гомогенизации количество связанной воды достигает первоначального уровня в негомогенизированном молоке, что обусловлено уменьшением количества скопленных жировых шариков. При выдерживании гомогенизированного молока количество связанной воды растет пропорционально увеличению вязкости.

Новые белковые оболочки жировых шариков имеют менее прочную структуру, поэтому они больше проницаемы для липаз. При гомогенизации происходит перераспределение ферментов, связанных с оболочками жировых шариков и мицелл казеина; их расщепление на субъединицы и переход в водную фазу молочного сырья может вызвать ухудшение его органолептических показателей. В частности, происходит десорбция липаз из оболочек жировых шариков и мицелл казеина, что вызывает липолитические запахи и вкус молочных продуктов во время хранения; высвобождение ксантиноксидазы из оболочек жировых шариков, расщепление ее на субъединицы, повышение ее активности в 2–3 раза, приводящее к развитию окисленных запахов и вкуса в готовых продуктах.

Американский ученый К. Остер выдвинул гипотезу о том, что гомогенизация молока позволяет ферменту ксантиноксидазе проникать через кишечник человека в кровеносную систему. По его утверждению, этот фермент способствует процессу повреждения кровеносных сосудов и ведет к атеросклерозу. Однако эта гипотеза была отвергнута многими учеными на том основании, что человеческий организм сам вырабатывает ксантиноксидазу в тысячи раз больше, чем теоретически могло бы привести в него гомогенизированное молоко.

При построении новых оболочек жировых шариков в гомогенизированном молочном сырье в них образуются включения липопротеидов низкой плотности, из-за чего молоко приобретает «солнечный» (сладковатый) привкус. Известно, что в гомогенизированном молоке «солнечный» привкус образуется в два раза быстрее, чем в негомогенизированном. Причем восприимчивость гомогенизированного молока к воздействию света возникает с повышением давления гомогенизации, что связывают с увеличением поверхности

жировых шариков. Во избежание появления этого привкуса во время хранения гомогенизированных молочных продуктов их необходимо фасовать в непрозрачную упаковку.

Гомогенизация молочного сырья практически не влияет на его плотность, изoeлектрическую точку и точку замерзания. Незначительно изменяются осмотическое давление и электропроводность гомогенизированного молочного сырья.

2.6.6. Раздельная гомогенизация молочного сырья

Основное назначение раздельной гомогенизации – получение гомогенизированного молочного продукта с повышенной стабильностью жировой фазы и достаточной стабильностью белков. Молоко вначале сепарируют; полученные сливки гомогенизируют и смешивают с обезжиренным молоком. При этом производительность гомогенизатора повышается в 2,5 раза, а расход энергии снижается примерно до 65%, так как количество гомогенизируемого продукта уменьшается на 50–70%. Поскольку наибольшая эффективность гомогенизации может быть достигнута в том случае, если в гомогенизируемой смеси содержится не менее 0,2 г казеина на 1 г жира, рекомендуемая максимальная массовая доля жира в сливках составляет 12%. По свойствам полученная смесь не отличается от гомогенизированного молока. Для получения высококачественного гомогенизированного молока необходима раздельная гомогенизация, чтобы в гомогенизированных сливках не образовывались скопления жировых шариков. В целях повышения качества раздельно гомогенизируемого молока для получения сливок с массовой долей жира более 15% применяют двухступенчатую гомогенизацию.

Для достижения высокой эффективности гомогенизации, особенно высокожирного молочного сырья, используют клапанные гомогенизаторы с двумя гомогенизирующими головками. При этом рекомендуемое соотношение давлений на первой и второй ступенях (p_2/p_1) должно быть равно 0,2. Процесс диспергирования жировых шариков происходит на первой ступени. Вторая ступень служит главным образом двум целям: созданию постоянного и управляемого противодействия в направлении первой ступени, обеспечивая тем самым оптимальные условия гомогенизации; разрушению слипшихся «гроздьев» жировых шариков, образующихся сразу же после гомогенизации (рис. 2.17).

Одноступенчатую гомогенизацию используют для молочного сырья с низкой массовой долей жира и при получении продуктов с более высокой вязкостью (образование скоплений жировых шариков после первой ступени приводит к повышению вязкости гомогенизи-

рованного молочного сырья). Двухступенчатую гомогенизацию – для молочного сырья с повышенной массовой долей жира или сухих веществ с целью достижения максимального эффекта гомогенизации и при получении маловязких продуктов.

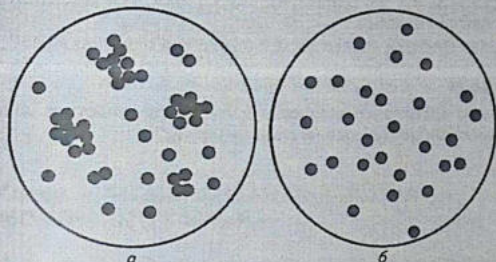


Рис. 2.17. Жировые шарики после первой (а) и второй (б) ступеней гомогенизации

Контрольные вопросы и задания

1. Какова цель сепарирования в технологических процессах различных молочных продуктов?
2. Назовите конструктивные различия сепараторов-молокоочистителей.
3. В чем сущность разделения дисперсионной среды и дисперсной фазы под действием центробежной силы?
4. Какие факторы влияют на эффективность центробежной очистки молока от механических примесей?
5. Охарактеризуйте бактериофугирование как способ очистки молочного сырья от микробиологических загрязнений.
6. Каковы особенности сепарирования на сепараторах-сливкоотделителях различной конструкции?
7. Какие факторы влияют на эффективность выделения молочного жира из молочного сырья при помощи сепарирования?
8. Какими способами нормализуют молоко при производстве молочных продуктов? Приведите расчетные формулы.
9. Какие факторы влияют на стабильность эмульсии молочного жира в молоке и молочных продуктах?
10. Опишите структуру и строение натуральной оболочки жирового шарика.

11. Как построена адсорбционная оболочка жирового шарика?
12. Назовите факторы, обеспечивающие стабильность жировой эмульсии гомогенизированных молочных смесей.
13. Перечислите способы гомогенизации молока и молочных продуктов. Дайте им характеристику с точки зрения дисперсности жировой эмульсии.
14. Какие факторы влияют на эффективность гомогенизации?
15. Для чего проводят двухступенчатую гомогенизацию молочного сырья?
16. Какие происходят изменения в составе и свойствах молока и молочных продуктов при гомогенизации?

Глава 3. МЕМБРАННАЯ ОБРАБОТКА МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ

3.1. Методы мембранной обработки молочного сырья

Мембранная обработка молочного сырья – это разделение или концентрирование растворов с помощью полупроницаемых мембран, осуществляемое на молекулярном и ионном уровнях. Главными достоинствами мембранного разделения молочного сырья являются возможность направленного регулирования его состава и свойств с сохранением их нативного состояния, а также создание на этой основе новых молочных продуктов.

Во всех методах мембранной обработки используют поперечную мембранную фильтрацию потока, при которой обрабатываемый раствор пропускается под давлением через мембрану. При этом часть компонентов раствора (концентрат) задерживается, а оставшаяся часть в виде фильтрата (пермеат) удаляется. Мембраной (в зависимости от размера пор) задерживаются компоненты молочного сырья и бактерии, в фильтрате остаются в первую очередь растворитель (вода) и растворенные в ней низкомолекулярные вещества. От традиционной фильтрации (очистка молока от механических примесей) мембранная фильтрация отличается тем, что с ее помощью отделяются частицы размерами меньше 10 мкм.

3.1.1. Классификация баромембранных процессов

Движущей силой баромембранных процессов является давление. Схема, по которой осуществляется баромембранная фильтрация, представлена на рис. 3.1.

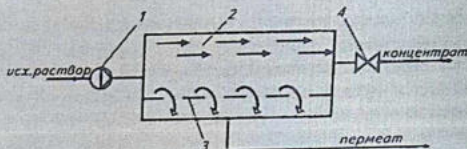


Рис. 3.1. Схема осуществления процесса баромембранной фильтрации:

1 – нагнетательный насос; 2 – мембранный аппарат; 3 – полупроницаемая мембрана; 4 – дроссель

С помощью насоса 1 повышают давление в растворе (в случае обратного осмоса – выше осмотического). Тогда через мембрану 3, помещенную в мембранном аппарате 2, происходит перенос растворителя, а концентрация раствора по мере его продвижения вдоль мембраны повышается. С некоторой конечной концентрацией раствор постоянно выводится из аппарата в виде концентрата, а проникший через мембрану растворитель с растворенными в нем веществами выводится из аппарата в виде пермеата.

Для каждого вида баромембранного процесса характерны свои диапазоны следующих параметров;

- размер задерживаемых мембраной частиц;
- молекулярная масса задерживаемых частиц;
- размер пор мембраны;
- величина рабочего давления;
- удельная производительность мембран.

На рис. 3.2 мембранные процессы расположены в одном ряду с фильтрацией, однако есть существенные различия между этими процессами.

1. Фильтрация – это всегда разделение неустойчивых гетерогенных систем. Мембранами разделяют или гомогенные, или устойчивые коллоидные системы. Устойчивость этих систем определяется взаимодействием частиц с водой.
2. Фильтрация всегда сопровождается накоплением задерживаемого перегородкой вещества на ее поверхности, в связи с чем этот процесс является периодическим. Мембранное разделение протекает в непрерывном режиме и накопление вещества на мембране происходит только в случае неправильного выбора рабочих параметров.

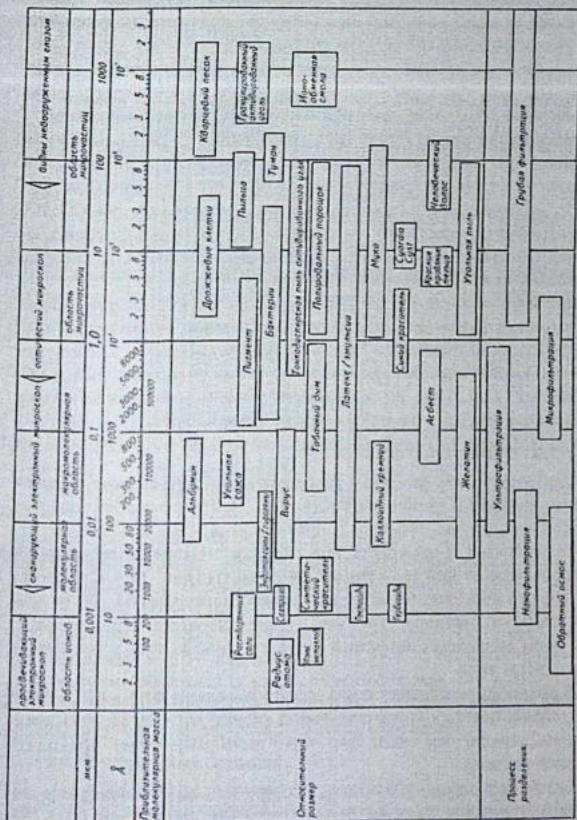


Рис. 3.2. Спектр фильтрации

В зависимости от характеристики частиц, которые необходимо сконцентрировать, применяют различные методы мембранного разделения:

- обратный осмос (ОО) – для концентрации почти всех компонентов молока, молочной сыворотки и фильтрата, полученного после ультрафильтрации сыворотки;
- нанофильтрация (НФ) – для частичного обессоливания (деминерализации) молочной сыворотки, а так же фильтрата, полученного в результате ультрафильтрации молочной сыворотки;
- ультрафильтрация (УФ) – для концентрации белков молока или молочной сыворотки, а также для нормализации по массовой доле белка при производстве сыров, йогуртов и некоторых других молочных продуктов с повышенной массовой долей СОМО;
- микрофильтрация (МФ) – в основном для холодной стерилизации обезжиренного молока, молочной сыворотки и рассола, предназначенного для посолки сыров, а также для обезжиривания молочной сыворотки при производстве концентрата сывороточных белков методом ультрафильтрации. Применение микрофильтрации цельного молока затруднительно из-за того, что вместе с бактериями на мембранах будет задерживаться и молочный жир. При необходимости можно подвергать микрофильтрации гомогенизированное цельное молоко.

3.1.2. Обратный осмос

В обратном осмосе одним из важнейших параметров является сродство материала мембраны к воде, т. к. от этого зависит толщина слоя связанной воды. Мембрана, погруженная в воду, взаимодействует с последней. Гидратация поверхности мембраны приводит к формированию на ней слоя связанной воды (l) (рис. 3.3). Связанная вода теряет способность растворять в себе электролиты. Тогда при приложении к раствору давления, превышающего осмотическое, через поры мембраны, имеющей диаметр $d_n \leq 2l$, будет проникать только чистая вода.

В реальных мембранах поры имеют довольно широкий разброс по размерам, поэтому они могут иметь размер $d_n > 2l$. Можно предположить, что по оси таких пор через мембрану будет проходить исходный раствор.

Кроме того, нужно учитывать, что проницаемость мембраны может быть затруднена из-за наличия гидратированных ионов ($d_{г.и}$). Тогда можно с большей уверенностью утверждать, что если диаметр поры $d_n \leq 2l + d_{г.и}$, то по ней растворенное вещество не проникнет через

мембрану. Такие поры называют селективными. Если же $d_p > 2t + d_{г.м.}$, то через пору будет протекать исходный раствор, имеющий концентрацию растворенного вещества. Первые поры называют селективным, вторые – неселективными.

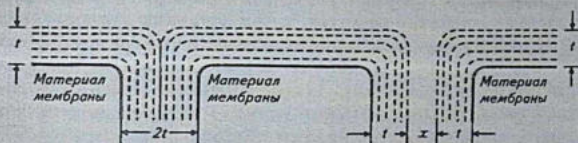


Рис. 3.3. Схема состояния воды на поверхности пористого тела из гидрофильного материала, имеющего поры разного размера

Характеристика конкретной мембраны определяется величиной, называемой «задерживающей способностью» или «селективностью» (R).

$$R = (C_1 - C_2)/C_1 \cdot 100\% = (1 - C_2/C_1) \cdot 100\%, \quad (18)$$

где C_1 , C_2 – молярная концентрация растворенного вещества, соответственно, в концентрате и пермеате.

Величина R абсолютно конкретна для определенного растворенного вещества и определенной мембраны. Физический смысл величины R – доля задержанного мембраной вещества.

Обратный осмос – концентрация почти всех компонентов молочного сырья при пропускании его под давлением через полупроницаемые мембраны. Размеры пор мембран составляют от 0,001 до 0,0001 мкм. Поэтому процесс фильтрации при обратном осмосе идентичен процессу удаления воды из молочного сырья выпариванием. Сквозь мембраны могут проходить лишь вода и одновалентные ионы Na^+ , K^+ , Cl^- . Процесс обратного осмоса осуществляется под давлением 3–6 МПа и температуре 20 °С. Применение высокого давления при обратном осмосе объясняется тем, что в этом случае приходится преодолевать осмотическое давление раствора, которое резко возрастает для низкомолекулярных соединений.

3.1.3. Нанофильтрация

Сравнивая обратный осмос и ультрафильтрацию можно отметить, что высокая задерживающая способность мембран для обратного осмоса сопряжена с необходимостью применять высокие давления для достижения приемлемой производительности мембран.

В то же время, высокая производительность мембран для ультрафильтрации сопровождается полным отсутствием задерживающей способности относительно неорганических ионов. Поэтому на стыке диапазонов существования этих двух процессов выделился промежуточный диапазон, который назвали *нанофильтрацией*. Он характеризуется высокой способностью задерживать многозарядные ионы и не требует высокого давления из-за большого размера пор. Эффект разделения достигается за счет того, что на мембране создается постоянный электрический заряд, отталкивающий от поверхности частицы и ионы, несущие заряд того же знака. Чем больше величина заряда у частицы, тем с большей силой она отталкивается мембраной. Это обстоятельство широко используется для фракционирования смесей. Например, можно задержать над мембраной двухзарядные ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , но пропустить ионы Na^+ и K^+ (пример умягчения воды или повышения термоустойчивости молока).

Нанофильтрация – концентрация молекул и макромолекул молочного сырья – происходит при пропускании его под давлением через полупроницаемые мембраны. Размеры пор этих мембран составляют от 0,01 до 0,001 мкм, поэтому на них концентрируются молочный жир, казеиновые мицеллы и сывороточные белки, а также лактоза и частично минеральные соли; частицы размером до 0,001 мкм и молекулярной массой до 1000. Чаще всего нанофильтрацию используют после ультрафильтрации молочного сырья для частичного обессоливания (деминерализации) подсырной сыворотки, а также частичной деминерализации фильтрата, полученного после ультрафильтрации. Нанофильтрацию проводят под давлением 2–4 МПа и температуре 50 °С.

3.1.4. Ультрафильтрация

Ультрафильтрации подвергают растворы высокомолекулярных соединений и полиэлектролитов. Это обуславливает два обстоятельства, которые изменяют условия проведения баромембранного процесса:

- осмотическое давление таких растворов очень мало;
- размер молекул этих веществ в растворе значительно больше величины $d_{\text{г.м}}$ для неорганических ионов.

Для подобных систем можно использовать мембраны с большими порами. В этих случаях толщина связанной воды не будет играть важной роли в эффективности процесса разделения, как в обратном осмосе. Более важным становится взаимодействие материала мембраны с растворенным веществом, что проявляется прежде всего в адгезии вещества к мембране. Механизм адгезии – адсорбционное взаимодействие.

Кроме того, для достижения величин проницаемости того же порядка, что и в обратном осмосе, не требуется высоких давлений. Удельная производительность мембраны описывается уравнением Пуазейля (21).

Задерживающая способность мембраны в этом случае определяется соотношением

$$r_p/r_n,$$

где r_p , r_n — соответственно, размер частицы и размер поры, поэтому механизм разделения — обычное сито.

По данным А.А. Свитцова, полное задержание белковых молекул на различных мембранах (ацетатцеллюлозных, полисульфоновых, лавсановых) начинается с величины параметра $r_p/r_n \sim 0,35$, т. е. при геометрическом размере поры в 3 раза большем, чем размер белковой молекулы.

Ультрафильтрация — концентрация молекул и макромолекул при пропускании молочного сырья под небольшим давлением через полупроницаемые мембраны. К крупным молекулам относятся казеиновые мицеллы с размером частиц от 0,01 до 0,1 мкм и молекулярной массой 10000–100000. К макромолекулам относятся сывороточные белки с размером частиц от 0,001 до 0,01 мкм и молекулярной массой от 1000 до 10000. Кроме того, к макромолекулам можно отнести витамины, имеющие почти такие же размеры и молекулярную массу, что и сывороточные белки, а также лактозу с частицами размером от 0,0001 до 0,001 мкм и молекулярной массой от 100 до 1000. Поэтому при ультрафильтрации молочного сырья размер пор мембран составляет от 0,01 до 0,1 мкм, в результате чего на мембранах концентрируются молочные белки, молочный жир, витамины и частично лактоза. В фильтрате, проходящем сквозь мембраны, остаются ионы, минеральные соли и в основном лактоза и вода. Процесс ультрафильтрации осуществляется при температурах 50–55 °С и давлении 0,1–1,0 МПа.

Для более полной очистки белкового концентрата, получаемого в результате ультрафильтрации, от лактозы применяют диафильтрацию. Это частный случай ультрафильтрации, при котором полученный в результате ультрафильтрации белковый концентрат разбавляют деминерализованной водой и вновь подвергают ультрафильтрации до исходной массовой доли сухих веществ. Некоторая часть лактозы и минеральных веществ при этом вымывается из белкового концентрата и проходит вместе с растворителем через мембрану. Сывороточный белковый концентрат, полученный методом ультрафильтрации, имеет высокую растворимость в воде, хорошие эмульгирующие, пенообразующие и гелеобразующие свойства.

Ультрафильтрацию молочного сырья применяют также в производстве детского творога, сыров, йогуртов и некоторых других молочных продуктов для повышения массовых долей белка или СОМО при нормализации по этим компонентам.

3.1.5. Микрофильтрация

Микрофильтрацию используют для разделения водных коллоидных систем (устойчивых зелей, эмульсий, микробных суспензий). Обычной фильтрацией такие системы не разделяются, поэтому микрофильтрацию тоже относят к мембранным процессам.

Задерживаемые мембраной субстанции находятся относительно воды в гетерогенном состоянии, т. е. не обладают поверхностью раздела. Охарактеризовать эти частицы можно только их геометрическим размером; понятие осмотического давления к ним не применяется. Взаимодействие с материалом мембраны не описывается в терминах адсорбции, но наблюдаются эффекты прилипания за счет гидрофильно-гидрофобного взаимодействия. Удельная производительность и задерживающая способность мембран описываются теми же уравнениями, что и в случае ультрафильтрации. При неправильном подборе мембран и рабочего давления возможно забивание пор и падение проницаемости.

Микрофильтрация – это концентрация посторонних частиц и высокомолекулярных соединений (например, бактерий с последующим их удалением), которая происходит при пропускании молочного сырья сквозь полупроницаемые мембраны. При этом размер пор мембран соответствует размеру и молекулярной массе задерживаемой частицы (в данном случае – бактериям). Бактерии имеют размеры от 1,0 до 10 мкм (гнилостные бактерии – 5–8 мкм, уксуснокислые и флюоресцирующие бактерии – 1–2 мкм, кокки – 0,75–1,25 мкм) с молекулярной массой свыше 500000; дрожжи и плесени имеют размеры от 10,0 до 100,0 мкм с молекулярной массой свыше 500000. Соответственно, мембраны, применяемые при микрофильтрации, имеют такой размер пор, при котором эти частицы будут задерживаться, а именно – от 0,1 до 10,0 мкм.

Процесс микрофильтрации молочного сырья сводит к минимуму высокотемпературное воздействие на белковые вещества молока, так как обработку осуществляют при температурах ниже порога денатурации сывороточных белков (50–55 °С). Эффективность холодной стерилизации увеличивается при отсутствии мицелл казеина, которые способствуют быстрому образованию гелевого слоя при микрофильтрации из-за оседания на мембранах, что влечет за собой снижение

скорости фильтрации. Более эффективно в целях стерилизации подвергать микрофильтрации молочную сыворотку перед ультрафильтрацией, что необходимо при производстве концентратов сывороточных белков, используемых в качестве добавок для продуктов детского и диетического питания, а также при производстве молочного сахара.

Мембраны, применяемые при микрофильтрации, задерживают, кроме бактерий, молочный жир. Размеры задерживаемых жировых шариков – от 0,1 до 5,0 мкм (в молочной сыворотке – от 0,1 до 1,0 мкм), молекулярная масса – от 100000 до 500000.

3.2. Характеристика аппаратов для мембранной фильтрации

Полупроницаемая мембрана – это селективно проницаемый барьер между двумя фазами. Массоперенос через мембрану также называют проницаемостью. Он происходит, когда существует движущая сила (градиент движущей силы – $\Delta\mu$) какого-либо воздействия на систему по обе стороны мембраны. Коэффициент проницаемости (G) зависит от градиента движущей силы ($\Delta\mu$) и меры сопротивления переносу вещества, оказываемого мембраной как проницаемой средой (K_G), т. е. количество вещества, переносимое через единицу площади мембраны в единицу времени при единичной движущей силе

$$G = K_G \cdot \Delta\mu. \quad (19)$$

Движущая сила – это универсальная характеристика; она возникает как результат различий давлений, концентраций, температур и электрических потенциалов.

Движущую силу переноса конкретного вещества (μ_i) можно выразить следующим уравнением, которое описывает механизм мембранного разделения:

$$\Delta\mu_i = R \cdot \Delta T \ln a_i + V_i \cdot \Delta P + z_i \cdot F \cdot \Delta U, \quad (20)$$

где a_i – активность i -ого вещества; z_i – заряд иона; F – постоянная Фарадея; V_i – молярный объем; R – газовая постоянная; ΔT , ΔP , ΔU – разность, соответственно, температур, давлений и электрического потенциала по обе стороны мембраны.

В зависимости от преобладающего градиента различают следующие мембранные процессы:

- ΔP – баромембранные;
- ΔT – термомембранные;
- Δa – диффузионные;
- ΔU – электромембранные.

По внутренней структуре мембраны можно разделить на пористые и непористые (сплошные или диффузионные). В пористых мембранах перенос вещества осуществляется конвективным потоком; в сплошных мембранах – диффузионным потоком.

Конвективный перенос можно описать уравнением Хагена-Пуазейля:

$$G_k = \epsilon r^2 \Delta P / 8 \eta \tau \delta_m, \quad (21)$$

где G_k – удельная производительность мембраны при конвективном переносе; ϵ – пористость поверхности мембраны, т. е. отношение площади пор к площади мембраны, $\epsilon = \pi r^4 N_p$ (при площади поверхности мембраны 1 м^2); π – осмотическое давление; N_p – количество пор на 1 м^2 площади поверхности мембраны; r – средний радиус пор; η – вязкость проникающей жидкости; τ – фактор извилистости пор, который увеличивает длину пути; δ_m – толщина мембраны.

Диффузионный перенос описывается уравнением Фика:

$$G_d = D \Delta C / \delta_m, \quad (22)$$

где G_d – удельная производительность мембраны при диффузионном переносе D – коэффициент диффузии проникающего компонента в материале мембраны; ΔC – молярная концентрация растворенного вещества в растворе по обе стороны мембраны.

Общий перенос вещества через мембрану будет складываться из двух потоков:

$$G = G_k + G_d. \quad (23)$$

В реальных мембранах можно встретиться с промежуточными случаями, когда необходим учет обоих факторов.

Для мембранной фильтрации в молочной промышленности используются фильтрационные модули следующих конструкций: пластинчатые; трубчатые, основанные на полимерах; трубчатые, основанные на керамике; спиральные и волоконные.

В пластинчатых фильтрующих аппаратах мембраны закреплены между пластинами, собранными в пакеты идентично пластинчатым теплообменникам (рис. 3.4). Несущая

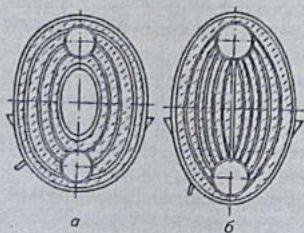


Рис. 3.4. Общий вид фильтрующих пластин модулей УФ-36 (а) и УФ-37 (б) фирмы ДДС

опорная пластина является главным элементом фильтрующего аппарата и выполняет роль подложки, на которой крепится полупроницаемая мембрана. Через опорную пластину выводится фильтрат обрабатываемого раствора, прошедший через полупроницаемую мембрану. Конструкции опорных пластин различаются между собой особенностями крепления мембран, размерами и геометрической формой. Между опорными пластинами эллипсоидной формы с помощью специальных колец крепится фильтрующая мембрана. Если опорные пластины имеют прямоугольную форму (плоскораменные), то фильтрующие мембраны между ними крепятся с помощью резиновых уплотнений (рис. 3.5, а). Кроме того, фильтрующие опорные пластины могут быть круглой формы (дисковые) (рис. 3.5, б). Общей особенностью фильтрующих опорных пластин является наличие в них дренажа и системы выводящих каналов, расположенных внутри пластин, через которые удаляется фильтрат, прошедший через полупроницаемую мембрану.

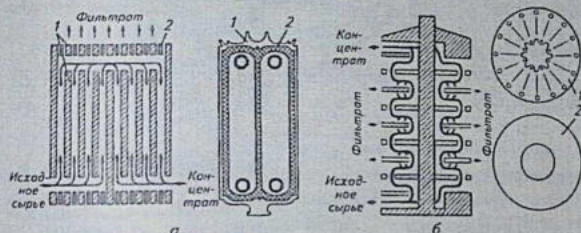


Рис. 3.5. Схема работы и общий вид фильтрующих пластин плоскораменного (а) и дискового (б) аппаратов

Фильтрационный модуль поделен на отсеки, в каждом из которых движется поток разделяемого раствора между парами мембран. Отсеки отделены опорной пластиной, в которой одно отверстие закрыто запорным диском, направляющим поток в противоположную сторону и обеспечивающим его последовательное продвижение по секторам. Часть раствора вместе с растворенными веществами проходит через мембрану за счет диффузионных процессов (фильтрат), а часть раствора циркулирует между фильтрующими мембранами. За счет удаления части дисперсионной среды с растворенными в ней низкомолекулярными соединениями концентрация высокомолекулярных веществ в нем повышается. В результате эта часть раствора с концентрированными компонентами (ретентат) также выходит из аппарата в виде кон-

центрата. Фильтрационные модули аппаратов пластинчато-рамной конструкции применяют для ультрафильтрации и обратного осмоса. Обычно мембраны при пластинчато-рамной конструкции фильтрующих аппаратов изготавливают из полимерных материалов.

Трубчатые фильтрационные модули, основанные на полимерах, представляют собой трубчатые элементы, внутрь которых помещена сменная трубчатая вставка-мембрана. Трубчатые элементы выполнены из нержавеющей стали и способны выдержать необходимое давление. Эти трубы служат несущей основой или дренажем для полупроницаемых мембран (рис. 3.6).

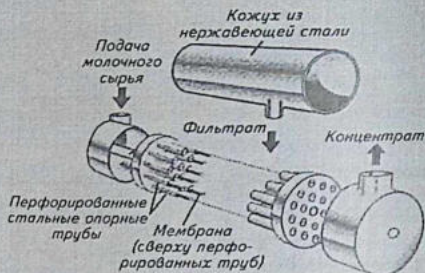


Рис. 3.6. Трубчатый модуль, предназначенный для включения в систему ультрафильтрации (или обратного осмоса)

Полупроницаемые мембраны изготавливают из пористых полимерных материалов, синтетических волокон, стекловолокну, синтетических нитей на каркасе. Трубчатые фильтрационные модули, основанные на полимерах, применяют в молочной промышленности для ультрафильтрации и обратного осмоса.

Более современным фильтрационным модулем является трубчатая фильтрационная система с керамическими мембранами (рис. 3.7). Опорным материалом в качестве подложки служит крупнозернистая керамика. Тонкие стенки полупроницаемой мембраны выполнены из мелкозернистой керамики. Такие модули применяют для микрофильтрации и ультрафильтрации молочного сырья. При микрофильтрации обезжиренного молока в целях удаления бактерий в модуль снизу подается обезжиренное молоко, сверху выводится ретентат – насыщенное бактериями обезжиренное молоко (5% всего количества); кроме того, отводится фильтрат (95% всего количества), который представляет собой очищенное от бактерий обезжиренное молоко.

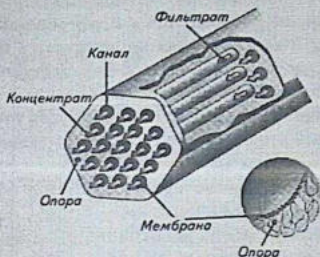


Рис. 3.7. Фильтрация поперечного потока в многоканальной фильтрационной системе (19 каналов)

Рулонный спиральный фильтрующий аппарат состоит из одного или более «конвертов», в каждый из которых входят два слоя мембраны, разделенные пористым материалом, способным пропускать фильтрат (рис. 3.8).

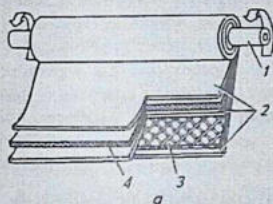
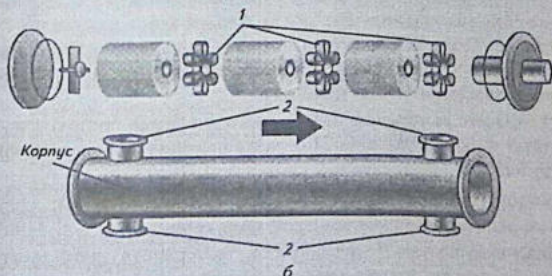


Рис. 3.8. Рулонный фильтрующий аппарат:

а – принципиальная схема рулонного фильтрующего аппарата: 1 – сборник фильтрата; 2 – полупроницаемая мембрана; 3 – сетка-разделитель; 4 – пористая подложка; б – детали рулонного модуля: 1 – противосдвиговое устройство; 2 – соединительные патрубки



Три края мембраны герметизированы и образуют «конверт». Открытый край конверта герметично присоединен к перфорированной трубе для сбора фильтрата. Затем весь узел навинчивается на перфорированную трубу для сбора фильтрата в целях формирования спиральной мембраны. Последняя оборудована противосдвиговым устройством, которое препятствует выскальзыванию слоев под воздействием напора обрабатываемой жидкости. Мембраны и пористый материал изготавливают из полимерных материалов. Фильтрационные модули спиральной конструкции можно использовать для обратного осмоса, нанофильтрации и ультрафильтрации.

Мембранные аппараты на основе полых волокон представляют собой патроны, содержащие пучки элементов из полого волокна — от 45 до 3000 штук в каждом патроне. Расположение полых волокон в фильтрующем модуле может быть различным. В молочной промышленности получили распространение аппараты с параллельным расположением волокон. Волокна уложены параллельно друг другу, их концы зафиксированы в полимерном материале и помещены в сборную трубу для фильтрата, изготовленную из эпоксидной смолы (рис. 3.9). Аппарат можно рассматривать как комплект трубчатых элементов. Наружная сторона полого волокна имеет грубую структуру и служит в качестве опоры. Поток обрабатываемой жидкости движется внутри этих волокон, фильтрат собирается снаружи и удаляется через верхний отдел трубы. В таких аппаратах мембраны изготовлены из полимерных материалов.

3.3. Характеристика полупроницаемых мембран

Полупроницаемая мембрана — определенным образом упорядоченная фаза, разделяющая две другие фазы и действующая как активный или пассивный селективный барьер в процессе переноса вещества между этими двумя фазами. Исходя из этого формулируют признаки, характеризующие мембрану.

1. *Процесс разделения*, для которого мембрана предназначена, т. е. какие фазы она разделяет. По этому признаку можно выделить три группы:

- жидкофазные (баромембранные, диализ, электродиализ);
- газофазные (диффузионное разделение газов);
- фазоинверсионные (первапорация, мембранная дистилляция, мембранная экстракция, мембранное сатурирование).

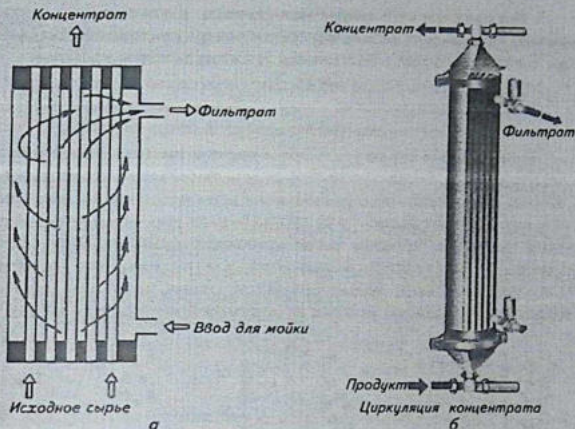


Рис. 3.9. Принципиальная схема фильтрующего аппарата на основе полых волокон (а); патрон аппарата в режиме ультрафильтрации (б)

2. *Материал мембраны*, т. е. из чего образована фаза самой мембраны. По этому признаку мембраны разделяют на следующие группы:

- материалы биологического происхождения (стенки внутренних органов, клеточные оболочки);
- полимеры растительного происхождения (целлюлоза, продукты ее модификации и переработки);
- полимеры синтетические;
- силикатные стекла;
- металлы (чистые и сплавы);
- углеродные материалы (графит, сажа);
- керамические материалы (оксиды, карбиды, нитриды и др. соединения металлов);
- водонерастворимые жидкости (углеводороды, липиды, с добавками комплексонов, ПАВ и др.);
- комбинированные и композиционные материалы (полимер-полимер, керамика-графит, керамика-металл, жидкость-полимер).

3. *Внутренняя структура мембраны*, т. е. каким образом упорядочена мембранная фаза и что обеспечивает ее селективные свойства. По этому признаку выделяются три типа мембран:

- пористые;
- сплошные (непористые);
- сплошные с паронным эффектом (рис. 3.10).

По внутренней структуре мембраны разделяются на изотропные и анизотропные. У первых свойства сохраняются по толщине пленки, у вторых они существенно различаются в тонком слое на поверхности и в остальном объеме – плотность, размер пор. Элементом внутренней структуры является также армировка мембран. Этот прием упрочнения используется в основном для полимерных мембран. В качестве армировки применяют сетки, ткани, нетканые полотна (войлоки), разобщенные волокна из полимеров, металлов, углерода.

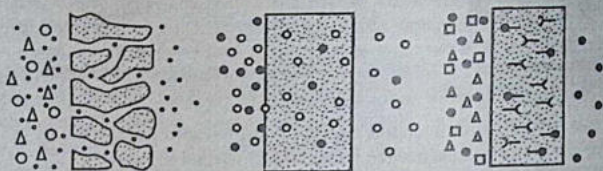


Рис. 3.10. Схематическое изображение трех типов мембранных структур

4. *Способ изготовления мембраны*. Для каждой группы материалов существуют свои способы.

Полимерные мембраны:

- полив на гладкую поверхность и разравнивание в виде пленки раствора или расплава полимера;
- экструзия, т. е. формование выдавливанием через фильеру раствора или расплава полимера;
- формование пленки распылением раствора на подложку;
- выщелачивание из пленки материала для формования пор;
- химическая, механическая или физико-химическая модификация предварительных заготовок.

Металлические мембраны:

- литье из расплава, прокатка, вытяжка;
- использование технологии порошковой металлургии;
- прессование металлических волокон (войлок).

Керамические и углеродные мембраны:

- приготовление формовочных смесей из порошкообразных материалов и их экструзия;
- золь-гель технология из водных растворов солей.

Стеклянные мембраны:

- экструзия из расплава шихты.

Композиционные мембраны:

- полимеризация мономера на поверхности из другого материала;
- склеивание двух слоев;
- формование любым из перечисленных способов одного слоя на поверхности другого;
- осаждение из раствора частиц одного материала на поверхность другого (динамические мембраны).

5. Внешняя форма мембраны:

- плоская мембрана (полотна, листы, ленты);
- трубчатая мембрана (цилиндры диаметром от 5 до 15 мм и длиной до 2 м);
- капиллярная мембрана (тонкие трубочки диаметром до 2 мм бесконечной длины);
- волоконная мембрана (полое волокно диаметром от 20 мкм до 300 мкм и бесконечной длины).

Основные требования к мембранам:

1. Задерживающая или разделяющая способность (селективность). Обычно требуется высокая величина R (18), но она всегда привязана к конкретному компоненту.
2. Удельная производительность.
3. Механическая прочность.

При эксплуатации мембран могут возникать гидравлические удары при включении насоса, силы трения протекающего потока, колебательные деформации за счет турбулентности, при других способах снятия поляризационных явлений.

4. Химическая стойкость.

Основным разрушающим действием обладает гидролиз, в который вовлекаются прежде всего функциональные группы на молекуле полимера. Нужно также учитывать действие кислот, щелочей и других моющих компонентов, которые используются в период регенерации мембран.

5. Биологическая стойкость.

Материал мембран часто служит субстратом для микроорганизмов, которые разрастаются колониями. Если материал биологи-

чески нестойк, приходится вводить ингибиторы роста микроорганизмов в мембрану, либо в исходный поток.

6. Тепловая стойкость.

Проблемы могут возникнуть при обработке горячих смесей, либо при паровой стерилизации оборудования.

7. Санитарные требования.

При использовании мембран в пищевой промышленности они сертифицируются на предмет вымывания из них компонентов, используемых в процессе изготовления мембран (мономеров, остатки растворителя, компоненты поливочного раствора или формовочной смеси и т. п.).

8. Временной ресурс работы мембран.

Ресурс мембран – это время, в течение которого мембрана сохраняет работоспособность. Ресурс мембраны будет довольно длительным, при условии рационального выбора мембранного процесса и мембран, конструкции мембранного аппарата, организации правильной обработки исходного сырья и создании оптимальной технологической схемы для минимизации проблем поляризации и отложений на мембранах.

Мембранные процессы могут использоваться для решения следующих задач производства.

1. Получение обессоленной и очищенной воды (в производстве молочных продуктов – получение деминерализованной молочной сыворотки).
2. Фракционирование смесей.
3. Очистка продукта от сопутствующих примесей.
4. Концентрирование продукта.
5. Регенерация ценных компонентов для повторного использования.
6. Холодная стерилизация.
7. Решение экологических проблем.

Полупроницаемая мембрана является главным элементом мембранных аппаратов. От свойств и характеристик полупроницаемых мембран зависит эффективность мембранных процессов. Поскольку полупроницаемые мембраны изготавливают из различных материалов, то при эксплуатации важно определить влияние на свойства мембран pH обрабатываемого раствора, температуры и давления при которых происходит разделение растворов.

Первыми мембранами, нашедшими применение в молочной промышленности, стали ацетатцеллюлозные мембраны из тонкого (до 0,1 мкм) микропористого фильтрующего слоя и макропористой основы толщиной от 100 до 1000 мкм. Основную роль в мембранных процессах разделения жидкостей играет микропористый фильтрующий слой, который характеризует такие показатели мембраны, как скорость фильтрации и селективность. Путем регулирования состава

полимера, из которого состоит мембрана, а также технологии изготовления мембран можно получить фильтрующий слой с различным размером пор и разной толщины. Ацетатцеллюлозные мембраны эксплуатируют в диапазоне температур от 0 до 50 °С при pH от 3 до 8. Недостатками этих мембран являются узкий рабочий диапазон температуры и pH, а также низкая механическая прочность, уменьшающая срок их эксплуатации. Это создаст трудности для мойки и дезинфекции мембранного оборудования.

Применение других полимерных материалов (ароматических полиамидов, полисульфонов, сополиамидов и др.) для изготовления мембран позволило улучшить характеристики последних и расширить диапазон температур и pH. Мембраны, изготовленные из этих материалов, можно эксплуатировать в диапазоне температур от 0 до 80 °С и pH от 2 до 12. Такие мембраны устойчивы к воздействию моющих и дезинфицирующих средств и сжатию под давлением. Структура мембран идентична ацетатцеллюлозным. Для повышения прочностных свойств макропористой основой в таких мембранах служат нетканые материалы: тонкий или толстый капрон, пропилен, а микропористым фильтрующим слоем, который наносят на эту подложку, — названные полимерные материалы.

Полупроницаемыми мембранами могут служить ядерные фильтры, имеющие регулируемую пористую структуру. Ядерные фильтры изготавливают из полиэтилентерефталатной (лавсановой) пленки толщиной до 10 мкм и диаметром пор от 0,01 до 2,5 мкм путем облучения этой пленки потоком ускоренных тяжелых ионов и последующего травления растворами щелочей. Фильтры могут выдерживать воздействие температур до 200 °С и стабильны в диапазоне pH от 1 до 14.

В последние годы созданы полупроницаемые мембраны из металлокерамики, стекла, оксидов металлов и некоторых других материалов. Они обладают высокой механической прочностью, термостойкостью (до 200 °С), химической стойкостью в диапазоне pH от 0 до 14, стойкостью к высокому давлению и т. д., что создает условия для их длительной эксплуатации.

Основные характеристики полупроницаемых мембран — предел (селективность) и скорость разделения.

Предел разделения мембран выражает задерживающую способность мембран по конкретному компоненту молочного сырья (жир, белок, лактоза, минеральные вещества и т. д.):

$$R = (\tau_c - \tau_\Phi) / \tau_c, \quad (22)$$

где τ_c — массовая доля определяемого компонента в исходном сырье; τ_Φ — массовая доля определяемого компонента в фильтрате.

Предел разделения мембран определяется минимальной молекулярной массой молекулы, которая может быть отфильтрована. Кроме того, имеет значение форма отделяемой частицы, так как молекулу сферической формы отделить легче, чем молекулу вытянутой формы. Нужно принимать во внимание и наличие гелевого (белково-минерального) слоя, появляющегося в результате пропускания молочного сырья через мембраны и влияющего на размер задерживаемых частиц при дальнейшей фильтрации.

Полупроницаемая мембрана может иметь определенный или размытый предел разделения. Мембраны с определенным пределом разделения отделяют все частицы с определенной молекулярной массой. Мембраны с размытым пределом разделения пропускают некоторые частицы с более высокой молекулярной массой и задерживают частицы с более низкой молекулярной массой.

Предел разделения мембраны зависит от диаметра пор в фильтрующем слое и диаметра молекулы задерживаемого вещества. Точность фильтрации мембран определяется размером пор и распределением размера пор. Порог фильтрации более или менее размыт, так как невозможно выполнить точное разделение по молекулярной массе или диаметру молекулы.

Скорость разделения компонентов молочного сырья при мембранной фильтрации зависит от характеристики используемых мембран, т. е. от толщины мембраны, площади ее поверхности и диаметра пор. Скорость разделения зависит также от параметров эксплуатации фильтрационных модулей, а именно — от давления, pH, температуры и гидродинамических показателей разделения.

3.4. Влияние различных факторов на эффективность мембранной фильтрации

Движущей силой баромембранной фильтрации является давление, которое оказывает значительное влияние на скорость фильтрации. Различают два вида давления, действующие на обрабатываемую жидкость: гидравлическое и трансмембранное.

Гидравлическое давление действует вдоль фильтрационного модуля, и скорость фильтрации зависит от падения гидравлического давления $p = p_1 - p_2$, где p_1 — давление на входе исходного продукта; p_2 — давление на выходе концентрата. Чем выше p_1 , тем выше скорость прохождения через модуль, тем больше воздействие, направленное перпендикулярно мембранам, и тем меньше воздействие поляризации.

Трансмембранное давление — это перепад давлений между двумя сторонами мембраны в какой-то конкретной точке. В результате

этого перепада возникает сила, проталкивающая фильтрат через мембрану. Максимальных значений трансмембранное давление достигает на входе в фильтрационный модуль, минимальных – на выходе из него. Среднее трансмембранное давление $ТМД = (p_1 + p_2)/2 - p_3$, где p_3 – давление на выходе фильтрата.

По мере концентрирования сухих веществ, происходящего при фильтрации, на поверхности мембран образуется поляризационный пограничный слой (осадок) с высокой концентрацией растворенных веществ, который начинает оказывать сопротивление потоку фильтрата.

Поляризационными называются явления, происходящие в тонком слое разделяемой смеси вблизи поверхности мембраны по причине ее полупроницаемости. Если через мембрану проходят одни компоненты, а другие ею задерживаются, то обязательно происходит изменение соотношений концентраций в исходном растворе, которые неравномерно распределены в его объеме.

Вдоль мембраны движется поток исходного раствора с концентрацией по задерживаемому компоненту C_0 . Под действием движущей силы (градиент давления) через мембрану проникает поток пермеата с концентрацией компонента $C_p < C_0$. Из-за того, что отток воды происходит из прилежащего к мембране слоя раствора, в нем концентрация компонента растет по мере приближения к поверхности мембраны.

Такой характер изменения концентрации будет одинаков для любого задерживаемого мембраной компонента – неорганических ионов и солей, водорастворимых органических соединений, в том числе высокомолекулярных, для коллоидных и взвешенных частиц. Все баромембранные процессы сопровождаются поляризационными явлениями. Отличия в том, что разные вещества различно ведут себя при концентрировании: у некоторых может быть превышен предел растворимости, и они будут выпадать в осадок; другие образуют пространственные сетки и превращаются в гель, третьи начинают накапливаться на мембране за счет адсорбции и поверхностных сил.

Концентрационная поляризация представляет собой формирование у поверхности мембраны пограничного слоя, в котором концентрация растворенного вещества больше, чем в исходном растворе. В обратном осмосе относительная величина КП больше, чем при ультрафильтрации.

Гелевая поляризация. В растворах высокомолекулярных соединений (ВМС) при ультрафильтрации при определенной концентрации начинается межмолекулярное ассоциирование ВМС с образованием пространственной сетки (геля). Оно возникает за счет уменьшения гидратных оболочек функциональных групп молекул ВМС и реализации

водородных связей между молекулярными цепями. Концентрирование растворов ВМС представляет собой процесс, обратный растворению.

Образование геля на поверхности мембраны резко меняет условия протекания процесса ультрафильтрации. Растворенное вещество в слое геля теряет подвижность, появляется еще одно сопротивление переносу вещества через мембрану, что снижает производительность мембраны. Это явление было названо «гелевой поляризацией».

Если в условиях гелевой поляризации повысить рабочее давление, то концентрация гелеобразования не изменится, толщина же гелевого слоя увеличится, а сам гелевый слой уплотнится.

Накопление растворенного вещества у поверхности мембраны, соответственно, увеличивает осмотическое давление раствора в пористом слое. Осмотический поток уменьшает массоперенос через мембрану, и это заметное уменьшение встречается в условиях концентрационной поляризации при обратном осмосе и в условиях гелевой поляризации – при ультрафильтрации. Поляризационный слой на мембране увеличивает общее сопротивление массопереносу за счет чисто гидравлических причин, т. к. он по сути формирует дополнительную пористую перегородку.

На практике при возникновении гелевой поляризации происходит не полное перекрытие пор слоем геля, а лишь уменьшение размеров пор. Это приводит к сильному смещению предела задержания в область низких молекулярных масс. Микрофильтрационные мембраны превращаются в ультрафильтрационные.

Способы снижения явления поляризации. Поляризационные явления снижают удельную производительность мембраны и, соответственно, эффективность разделения. Способы уменьшения этих влияний можно разделить на три группы:

- предварительная обработка разделяемых растворов;
- изменение параметров проведения процесса;
- регенерация мембран.

Способы первой группы основаны на том, что изменяется состав исходного раствора либо путем предварительного вывода определенных компонентов, либо путем добавления веществ, изменяющих поведение компонентов при концентрировании (электродиализ, ионный обмен, микрофильтрация и т. п.).

В процессе ультрафильтрации образуется гелеобразный осадок из высокомолекулярных белков и нерастворимых солей, находящихся в коллоидной форме. Концентрация низкомолекулярных веществ, таких как лактоза, также возрастает в поляризационном слое, поскольку коэффициент диффузии для лактозы меньше коэффициента диффузии для воды, вследствие чего поток лактозы через погранич-

ный слой тоже должен быть меньше потока воды. В результате подобное явление должно привести к резкому увеличению концентрации лактозы на внешней границе поляризационного слоя и увеличению потока лактозы через пограничный слой. Это продолжается до тех пор, пока градиент концентрации не приводит к обратной диффузии в противоположном направлении потока лактозы из поляризационного слоя. В результате оказывается, что концентрация лактозы по обе стороны поляризационного слоя одинакова. Растворимый фосфат кальция, концентрация которого на внешней границе пограничного слоя достигает предела насыщения, переходит в нерастворимое состояние и также осаждается на поверхности мембран.

Образование белкового поляризационного слоя на поверхности мембраны начинается с обезвоживания обрабатываемого продукта непосредственно вблизи поры мембраны. Это приводит к образованию первичного слоя осадка – пробки, блокирующей пору. Вследствие диффузии воды вдоль поверхности мембраны продукт, расположенный между порами, медленно обезвоживается, образуя вторичный слой осадка. Однако этот процесс в силу объективных причин на скорость фильтрации не влияет. По мере работы фильтрационного модуля мелкие молекулы белка могут проникать внутрь крупных пор. Частица белка, проникшая в пору, может быть адсорбирована стенкой последней. Блокируя сечение поры, такая частица уменьшает проход фильтрата через нее, т. е. скорость фильтрации. Блокирование значительной части пор возрастает по мере увеличения контакта мембраны с обрабатываемой жидкостью, поэтому снижение скорости фильтрации происходит не сразу.

Эффект поляризации распространяется неравномерно по мембране. Сначала осадок образуется на начальном отрезке мембраны, затем начинает распространяться по всей ее поверхности, снижая ее пропускную способность и скорость фильтрации. В результате наступает момент, когда необходимо останавливать установку для проведения ее мойки.

Повышение давления на первой стадии ультрафильтрации, когда поляризационный слой отсутствует или очень мал, приводит к увеличению скорости фильтрации и, соответственно, положительно влияет на эффективность процесса. Однако при дальнейшем повышении давления быстро начинает образовываться и уплотняться поляризационный гелевый слой, оказывающий сопротивление фильтрации. Поэтому в непрерывных ультрафильтрационных установках давление фильтрации необходимо снижать от ступени к ступени по мере повышения концентрации белка в обрабатываемой жидкости.

На эффективность и скорость мембранной фильтрации влияет температура молочного сырья. Повышение температуры до 60 °С интенсифицирует процесс ультрафильтрации. Это связано с тем, что при повышении температуры усиливается броуновское движение, а следовательно, возрастает диффузия растворов через полупроницаемую мембрану. Повышение температуры также приводит к снижению вязкости обрабатываемой жидкости, что способствует повышению скорости фильтрации. Например, при повышении температуры ультрафильтрации с 20 до 50 °С скорость ультрафильтрации возрастает в 2,5–3,0 раза. Однако подъем температуры выше 60 °С приводит к денатурации белковых веществ молочного сырья и увеличению белкового поляризационного слоя и, соответственно, к снижению скорости фильтрации. Кроме того, использование температуры выше 60 °С обуславливает изменение полимерной структуры мембран, что также ухудшает проницаемость мембран и снижает эффективность мембранной фильтрации.

На эффективность мембранной фильтрации влияет также активная кислотность молочного сырья. Установлено, что с понижением pH обезжиренного молока скорость ультрафильтрации уменьшается. Это объясняется тем, что при снижении pH обезжиренного молока до 4,6–4,7 (изоэлектрическая точка казеина) происходят коагуляция казеина, увеличение вязкости и снижение скорости ультрафильтрации. Однако при понижении температуры снижается и порог коагуляции молочных белков. Коагуляция белков и образование гелевого слоя происходят при условиях, выраженных формулой:

$$\text{pH} = 4,28 + 0,027t, \quad (23)$$

где t — температура обрабатываемой жидкости.

Для предотвращения быстрого образования молочно-белкового геля на поверхности мембран при ультрафильтрации необходимо выбирать температуру в зависимости от pH молочного сырья. Кроме того, процесс ультрафильтрации, например, при получении концентрата сывороточных белков, желательно проводить при значениях pH молочного сырья в пределах 6,5–6,7.

В молочной промышленности при выработке молочных продуктов мембранные методы обработки молочного сырья можно применять как самостоятельно, так и в сочетании друг с другом. Выше уже упоминалось, что до ультрафильтрации молочной сыворотки при производстве сывороточных белковых концентратов, молочного сахара и т. д. желательно проводить микрофильтрацию для холодной стерилизации и обезжиривания молочной сыворотки.

3.5. Другие методы мембранной обработки молочного сырья

Эффективным методом улучшения качественных показателей молочной сыворотки перед ультрафильтрацией, а именно – уменьшения в ней содержания минеральных компонентов (деминерализация), является электродиализ.

Электродиализ – это направленный перенос ионов через размещенную в растворе электролита мембрану под действием постоянного электрического поля. Сущность электродиализа заключается в том, что мембрана (перегородка), находясь в контакте с раствором электролита, под влиянием электрического поля пропускает ионы одного заряда и служит барьером для ионов противоположного заряда.

Процесс сочетает в себе диализ, осмос и электроосмос. Диализ – это диффузионный процесс переноса растворенного вещества через ионитовую мембрану за счет разности концентраций растворенных веществ по обе ее стороны. Осмос – это перенос растворителя через мембрану из областей с меньшей концентрацией растворенных веществ в область с большей их концентрацией. Электроосмос – это перенос через мембрану молекул растворителя, захватываемых мигрирующими ионами.

В современных электродиализаторах между двумя электродами расположены чередующиеся анионо- и катионообменные мембраны. При достаточно высоком внешнем электрическом потенциале электрический ток переносит катионы из раствора (например, из молочной сыворотки) в поток работающего раствора через катионообменную мембрану. Анионы движутся в противоположном направлении и переносятся в поток рабочего раствора через анионообменную мембрану. Таким образом, молочная сыворотка обессоливается (дeminерализуется), а соли концентрируются в рабочем растворе.

В начальный период электродиализа из молочной сыворотки удаляются наиболее подвижные одновалентные ионы и анионы (натрий, калий, хлор), которые сильно влияют на ее вкусовые качества. Затем по мере обессоливания одновременно удаляются анионы фосфорной и лимонной кислот, что приводит к частичной диссоциации комплексов, связывающих ионы кальция и магния. Затем удаляется молочная кислота. С повышением степени деминерализации возрастает скорость удаления из сыворотки двухвалентных катионов. Однако такие микроэлементы, как железо, цинк, медь, марганец, остаются в сыворотке.

Ионитовая мембрана представляет собой тонкий лист, состоящий из полимерного остова и включенных в него ионогенных групп, кото-

рые обуславливают высокую электрохимическую активность мембран. Известны в основном два вида ионитовых мембран: гомогенные и гетерогенные. Гомогенные мембраны получают формированием неконденсированных ионообменных смол с последующей их активацией в тонком слое. Гетерогенные мембраны изготавливают из тонкоизмельченного порошка ионообменных смол или смешиванием смолы с инертным материалом (полистиролом, полиметилметакрилом и др.).

Электродиализ молочной сыворотки не влияет существенно на ее качество и содержание сывороточных белков, лактозы, витаминов. Потери белков составляют 2–3%, лактозы – 6%.

Деминерализованная молочная сыворотка имеет ряд преимуществ перед недеминерализованной – менее выражена горечь за счет удаления минеральных веществ, понижена кислотность (особенно это важно для кислой творожной сыворотки при ее дальнейшем использовании) и т. д. Это дает возможность применять сыворотку в производстве продуктов для детского питания и различных других пищевых продуктов. Кроме того, применение электродиализа предотвращает загрязнение окружающей среды, которое происходит при сбросе в канализацию недеминерализованной сыворотки.

Метод *ионного обмена* используют для деминерализации молочной сыворотки наряду с электродиализом. Ионный обмен осуществляется в колонках с ионообменными смолами. Они представляют собой природные или синтетические электролиты, структурно состоящие из жесткого каркаса (матрицы) и функциональных групп, достаточно прочно связанных химическими связями. В зависимости от заряда иониты классифицируют на катиониты (отрицательный заряд), аниониты (положительный заряд) и амфолиты, содержащие в составе катионы (H^+) и анионы (OH^-).

Принцип этого метода основан на обмене подвижных ионов стационарной фазы и одноименно заряженных ионов из протекающего раствора. Молочную сыворотку пропускают вначале через катионит, затем через анионит. Катионит связывает катионы присутствующих в молочной сыворотке минеральных солей, при этом выделяются соответствующие кислоты, анионы которых связываются анионитом.

Ионный обмен используется в молочной промышленности при получении молочной кислоты; для деминерализации молочной сыворотки; извлечения радиоактивных элементов из молочного сырья; повышения термостойкости молока, предназначенного для стерилизации; снижения его кислотности.

Контрольные вопросы и задания

1. Каково назначение мембранной обработки молочного сырья?
2. Охарактеризуйте методы мембранной обработки.
3. Какие аппараты используют для мембранной фильтрации молочного сырья?
4. Что собой представляют полупроницаемые мембраны, используемые при мембранной фильтрации? Какими свойствами они должны обладать?
5. Какие факторы и каким образом влияют на эффективность мембранной фильтрации?
6. Опишите электродиализ. В каких случаях его применяют.

Глава 4. ТЕПЛОВАЯ И ВАКУУМНАЯ ОБРАБОТКА МОЛОКА И МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

4.1. Назначение и виды тепловой обработки

Свежесвыдоенное молоко имеет температуру тела животного – около 37 °С, которая затем снижается до температуры помещения, т. е. 20–25 °С. Этот диапазон температур оптимален для развития микроорганизмов, находящихся в сыром молоке. Для сохранения качества молока необходимо предотвратить размножение микроорганизмов. Этого можно достичь тепловой обработкой молока, при которой в условиях повышенной температуры уменьшается количество микроорганизмов или происходит их полное уничтожение (термизация, пастеризация, стерилизация), либо снижением температуры (охлаждение и замораживание).

Цель тепловой обработки – исключение передачи через молоко инфекционных заболеваний и повышение стойкости молока при хранении. Для усиления эффекта при производстве молочных продуктов сочетают нагрев молочного сырья до 100 °С или выше (в зависимости от требуемого срока хранения молочного продукта) с последующим немедленным охлаждением до температур, предусмотренных стандартом.

Эффективность тепловой обработки молочного сырья зависит от резистентности микроорганизмов, устойчивости его составных частей и интенсивности тепловой обработки. Интенсивность тепловой обработки обусловлена применяемой температурой, длительностью ее воздействия и движением продукта в процессе обработки.

Однако любое тепловое воздействие на молочное сырье и молочные продукты отражается как на системе в целом, так и на от-

дельных компонентах. Поэтому нужно выбирать такие режимы при технологической обработке, которые при достижении поставленной цели (подавление или уничтожение микрофлоры и инаktivация ферментов) сохранили бы технологические свойства и биологическую ценность молочного сырья и молочных продуктов.

4.2. Охлаждение молочного сырья и молочных продуктов

Охлаждение – процесс снижения температуры молока и продуктов его переработки до уровня, при котором приостанавливается развитие в них микроорганизмов и окислительных процессов. Охлаждение подвергнутых термической обработке молока и продуктов его переработки (за исключением мороженого, сыров, сырных продуктов, сухих, концентрированных, сгущенных, стерилизованных продуктов переработки молока) осуществляется до температуры не выше 6°C в течение двух часов. При производстве кисломолочных продуктов температура молока, сливок или нормализованной смеси исходных продуктов переработки молока после пастеризации должна быть снижена до температуры сквашивания. Не допускается выдерживать пастеризованное молоко, сливки или нормализованную смесь исходных продуктов переработки молока при температуре сквашивания без закваски. Охлаждение смесей для мороженого осуществляется до температуры $(0-6)^{\circ}\text{C}$ в течение не более чем двух часов. Продолжительность хранения охлажденных смесей для мороженого не должна превышать:

- а) 48 часов при температуре от 0 до 2°C ;
- б) 36 часов при температуре от 2 до 4°C ;
- в) 24 часов при температуре от 4 до 6°C .

В целях торможения развития микроорганизмов, ферментативных и физико-химических процессов при охлаждении молочного сырья и молочных продуктов температуру понижают до $2-10^{\circ}\text{C}$ и хранят их при этой температуре до переработки. В зависимости от конечной температуры охлаждения в продуктах в большей или меньшей степени могут протекать физико-химические процессы, обусловленные действием ферментов и микробиологическими факторами.

Интенсивность развития микробиологических процессов при пониженных температурах обуславливается наличием воды в доступной для микроорганизмов форме. Потребность их в воде можно выразить количественно в виде активности воды A_w . Значение A_w зависит от концентрации растворенных веществ и степени их диссоциации. Для бактерий оптимальное значение A_w соответствует $0,94-0,93$, для дрожжей – $0,91-0,88$, плесени способны развиваться при A_w до $0,6$.

Понижение температуры приводит к подавлению жизнедеятельности микроорганизмов. Эффект воздействия низких температур на микробную клетку основан на нарушении сложной взаимосвязи метаболических реакций и повреждении механизма переноса растворимых веществ через клеточную мембрану. Наряду с этим имеет место изменение качественного состава микрофлоры. Некоторые группы микроорганизмов (психрофилы) способны достаточно быстро размножаться при температуре 5–15 °С. Таким образом, охлаждение продуктов до низких температур не исключает возможности его микробиологической порчи, так как возбудителями порчи белоксодержащих продуктов являются преимущественно гнилостные бактерии.

Эффективность подавления жизнедеятельности микроорганизмов зависит не только от конечной температуры, но и от скорости охлаждения.

При отведении теплоты замедляется тепловое молекулярное движение и изменяется состояние компонентов молока, прежде всего, с преобладающим числом гидрофобных связей. Наибольшим числом гидрофобных связей обладает казеин. При температуре около 60 °С прочность гидрофобных связей самая высокая. По мере снижения температуры сила гидрофобных связей ослабевает, агрегаты распадаются на более мелкие образования. Дезагрегация обратима, но только частично, причем обратный процесс протекает с меньшей скоростью. Поэтому после хранения молока в течение длительного времени при температуре 2–6 °С способность его к свертыванию сычужным ферментом заметно ухудшается. Сгусток, полученный в результате свертывания долго хранившегося при низкой температуре молока, характеризуется меньшей прочностью и способностью к синерезису (отделению сыворотки).

Неустойчивость гидрофобных связей приводит к усилению активности ферментов – в первую очередь, ксантиноксидазы и каталазы, связанных с казеином и белковыми компонентами жировых шариков в оболочке. При охлаждении они начинают десорбировать в плазму с поверхности оболочек жировых шариков, увеличивается их концентрация в плазме молока, что может вызвать появление индуцированного окисленного вкуса. Ксантиноксидаза катализирует окисление многих альдегидов до кислот, а каталаза – окисление пероксидами ненасыщенных жирных кислот и спиртов. При низкой скорости охлаждения, например, в течение 20 ч с 37 до 6 °С, происходит значительная десорбция ксантиноксидазы. При высокой скорости охлаждения, например, в течение 4 ч до тех же температур, десорбция этого фермента незначительна.

Кроме того, вследствие ослабления гидрофобных связей при охлаждении и дестабилизации оболочек жировых шариков при перемешивании охлажденного молока повышается активность липаз и протеиназ, значительная часть которых связана с казеином. При этом повышается вероятность появления индуцированного липолиза и протеолиза, что ведет к появлению горького и прогорклого привкусов в молоке, хранившемся длительно при низких температурах.

При охлаждении молочного сырья и молочных продуктов происходят частичное отвердевание и кристаллизация молочного жира в жировых шариках, что и приводит к ослаблению связей в оболочках, так как глицеридный слой теряет эластичность и становится более подверженным механическим воздействиям. Процесс отвердевания и кристаллизации молочного жира при охлаждении используется, как технологический прием при производстве сметаны и масла из сливок.

Охлаждение и хранение охлажденного молочного сырья приводит к разрушению витаминов. Например, витамин С разрушается на 18% при хранении охлажденного молока 2 суток и на 67% при хранении охлажденного молока 3 суток.

При охлаждении происходит изменение состава микрофлоры сырого молока – замедляется рост мезофильной и термофильной микрофлоры и начинают преобладать психрофильные бактерии, развивающиеся при температурах от 5 до 15 °С. Психрофильные микроорганизмы выделяют термостабильные протеолитические и липолитические ферменты, сохраняющие свою активность после тепловой обработки, поэтому представляют наибольшую опасность для качества молочного сырья и молочных продуктов.

В связи с тем, что охлаждение определенным образом влияет на компоненты и состав микрофлоры молочного сырья и молочных продуктов, нежелательно при производстве молочных продуктов, и особенно сыров и творога, использовать длительно хранившееся при низких температурах молочное сырье.

4.3. Замораживание молочного сырья и молочных продуктов

Длительное хранение молочного сырья и молочных продуктов можно обеспечить в условиях низких температур за счет торможения развития микробиологических процессов и существенного понижения скорости ферментативных и физико-химических реакций. Некоторые молочные продукты, такие как творог, сметану, сливки, замораживают для длительного хранения и использования в качестве резерва в зимне-весенний период года. Низкотемпературную обработку применяют

в технологии мороженого, а также в производстве молочных продуктов сублимационной сушки. При замораживании происходят более заметные изменения физико-химических и биохимических процессов, чем при охлаждении, причем глубина их зависит от скорости замораживания и температуры хранения замороженных продуктов. Изменения обусловлены процессами кристаллизации воды, перераспределением влаги между структурными образованиями компонентов молока, повышением концентрации растворенных в жидкой фазе веществ.

Влага, содержащаяся в молоке и молочных продуктах, как и в других биологических материалах, обуславливает консистенцию и структуру продукта, определяя его устойчивость при хранении.

В продуктах животного происхождения, находящихся при температуре ниже криоскопической (температура начала льдообразования при отсутствии переохлаждения), но выше эвтектической, при определенном осмотическом давлении происходит концентрирование солевого раствора. Силы, под действием которых это происходит, стремятся оторвать от каркаса связанную влагу и перенести ее в раствор, где она может перейти в кристаллическое состояние. Процесс кристаллообразования приводит к изменению физических характеристик продукта и сопровождается изменениями его физико-химических, биохимических и морфологических свойств.

Работа сил, затраченных на отрыв 1 кг связанной влаги при температуре замораживания, равняется энергии связи влаги с сухим веществом при данной температуре.

Связанная влага отличается от свободной влаги своими свойствами. Она замерзает при более низких температурах, обладает меньшей способностью растворения, меньшей теплоемкостью, повышенной плотностью. Количество связанной влаги в продукте, помимо его физико-химических свойств, определяется его дисперсностью. С увеличением дисперсности продукта увеличивается количество связанной влаги.

Количество и доля вымороженной влаги в продукте зависят от ее общего содержания, формы и прочности ее связи со структурными элементами, концентрации и степени диссоциации растворенных в воде веществ. Размер, форма и распределение кристаллов льда в структуре продукта зависят от его свойств и условий замораживания. Состояние мембран и клеточных оболочек, их проницаемость, ионная и молярная концентрация растворенных веществ, степень гидратации основных компонентов (прежде всего белков) предопределяют особенности распределения льда в системе и форму кристаллов.

Более низкая концентрация растворенных веществ в межклеточном пространстве обуславливает разницу значений криоскопических температур структурных элементов продукта. По этой причине кри-

сталлы льда в первую очередь формируются в межклеточной жидкости. Этот процесс сопровождается повышением осмотического давления за счет роста концентрации растворенных в жидкости солей, что, в свою очередь, способствует миграции влаги из клеток.

При медленном замораживании (температура минус 10 °C) с образованием крупных кристаллов вне клеток изменяется первоначальное соотношение объемов межклеточного и внутриклеточного пространства за счет перераспределения влаги и фазового перехода воды. Быстрое замораживание (температура ниже минус 22 °C) предотвращает значительное диффузионное перераспределение влаги и растворенных веществ и способствует образованию мелких, равномерно распределенных кристаллов льда. В соответствии с изменением скорости замораживания по мере перемещения границ фазового перехода от периферии к центру продукта меняются размер и характер распределения кристаллов льда. Наиболее мелкие кристаллы образуются в поверхностных слоях продукта.

Условия замораживания влияют также на равномерность распределения растворенных веществ по объему продукта. Увеличение концентрации неорганических веществ в зоне кристаллообразования может быть причиной их миграции во внутренние слои продукта.

При замораживании воды образуются кристаллы различной формы, имеющие острые вершины и кромки, вследствие чего они могут отрицательно воздействовать на грубодисперсные составные части. Из водных солевых растворов в процессе замораживания выпадают прежде всего чистые кристаллы льда, в результате чего концентрация остаточного раствора повышается. Это приводит к дальнейшему понижению точки замораживания. В эвтектической точке раствор затвердевает равномерно.

Максимальное кристаллообразование происходит при температурах от минус 2 °C до минус 8 °C, поэтому, чтобы предотвратить образование крупных кристаллов льда при замораживании, необходимо обеспечить быстрое понижение температур в этом интервале. Кроме того, именно из-за максимального кристаллообразования в этом интервале температур повышается содержание в невымороженной влаге растворенных веществ, увеличивается скорость некоторых реакций — в частности, из-за нарушения структурных клеточных образований высвобождаются ферменты и окисляются липиды.

Дальнейшее понижение температуры не сопровождается значительным возрастанием концентрации веществ в жидкой фазе, происходит снижение скорости физико-химических и биохимических реакций.

При медленном замораживании молока невымороженными остаются около 4% свободной и 3–3,5% связанной влаги. В свободной вла-

ге повышена концентрация белков, минеральных солей и лактозы. Это влияет на стабильность белков: из казеина удаляется гидратационная вода, уменьшается заряд казеиновых мицелл, в результате происходят агрегация и дезагрегация казеиновых мицелл и потеря ими стабильности. Этому способствует и кристаллизация лактозы при охлаждении и сильном перемешивании молока перед замораживанием. Поэтому в медленно замороженном молоке физико-химические изменения белков приводят к полной или частичной их денатурации. Образующийся вследствие денатурации осадок состоит из α - и β -казеина, а также фосфата кальция. Такие изменения белков приводят к снижению способности молока свертываться под действием сычужного фермента.

При быстром замораживании вся свободная влага переходит в лед, невымороженной остается 3–4% влаги. Оставшаяся связанная влага не обладает свойством растворять соли, поэтому денатурационных изменений белков не происходит. Не нарушается также стабильность оболочек жировых шариков и, как следствие, предотвращается дестабилизация жировой эмульсии.

Замораживание молочного сырья происходит неравномерно: сначала слой чистой воды на границе раздела фаз (на стенках, сверху и на дне сосуда), в оставшейся части концентрируются компоненты молока. Так как кристаллы, образующиеся из первоначального раствора, отличаются по своему составу, замораживание водных растворов представляет собой процесс расслоения. Молочное сырье при медленном замораживании расслаивается. Это явление можно наблюдать при доставке молока во флягах в зимние месяцы. Образующийся во флягах «молочный лед» содержит больше воды, чем остальная жидкость, которая отличается повышенным содержанием сухих веществ.

В сливках процессы расслоения не так ярко выражены, как в молоке. Однако при медленном замораживании сливок наступают известные явления дестабилизации, которые проявляются в виде появления «свободного» жира после оттаивания сливок. Это явление вызвано тем, что давление льда вызывает деформацию и повреждение оболочек жировых шариков. Последние после оттаивания сливок образуют конгломераты, в результате чего и появляется свободный жир. Результатом дезмульгирования является липолиз в сыром молоке после замораживания и оттаивания.

Наряду с механическим разрушением оболочек жировых шариков в результате эффекта высаливания остаточной жидкости денатурируют оболочечные белки. Гидратная оболочка белков оболочки жировых шариков довольно прочно адсорбирована. При замораживании она сохраняется как невымораживаемая вода.

Между льдом и невymороженной гидратной водой возникает перепад давлений водяных паров. В процессе хранения молока или сливок молекулы воды выделяются из гидратного слоя и денатурируют. Это способствует дестабилизации оболочек жировых шариков. Дестабилизация молочного жира сливок в процессе хранения объясняется их гетерогенностью. Водная и жировая фазы различаются как теплопроводностью, так и тепловым расширением. Коэффициент теплового расширения жира более чем вдвое больше коэффициента теплового расширения льда, за счет этого и объемное расширение жира и льда различно. В результате на поверхности лед/жир возникают напряжения, вызывающие повреждение жировых шариков.

Кристаллизация молочного жира и дестабилизация оболочек жировых шариков в результате замораживания приводят к появлению свободного жира, активизации ферментов и быстрой порче размороженного продукта, а также к увеличению содержания жира в пахте при производстве масла из сливок.

Замораживание сопровождается уменьшением количества и активности микроорганизмов без их полного уничтожения. В процессе замораживания повышается концентрация растворенных веществ вследствие перехода влаги из микробной клетки во внешнюю среду, в дальнейшем влага кристаллизуется внутри клетки. Из-за изменения состояния белково-липидных комплексов и механического разрушения микробной клетки кристаллами льда возможны повреждения мембранных структур клеток.

Устойчивость микробной клетки к замораживанию зависит от рода и вида микроорганизмов, стадии их развития, скорости и температуры замораживания, состава среды обитания. В пределах температур замораживания до минус 30 °C разрушение многих микроорганизмов происходит при достаточно небольших минусовых температурах. Так, наиболее высокая степень гибели микроорганизмов приходится на температуры -4...-6 °C. Однако в этих условиях сохраняют свою жизнедеятельность и способность к росту некоторые психрофильные микроорганизмы. Для предотвращения их развития необходимы более низкие температуры. Почти полностью исключается рост микроорганизмов при температурах -10...-12 °C. Хранение при таких температурах позволяет предотвращать в течение длительного времени микробиологическую порчу продуктов.

Тем не менее, при замораживании и хранении при низких температурах в продукте остается часть жизнеспособной микрофлоры, а ферменты еще долго сохраняют свою активность. Поэтому при замораживании продукта могут начаться процессы, влияющие на его качество.

4.4. Пастеризация молочного сырья

Пастеризация – процесс термической обработки сырого молока или продуктов его переработки. Пастеризация осуществляется при температуре от 63 до 120 °С с выдержкой, обеспечивающей снижение количества любых патогенных микроорганизмов в сыром молоке и продуктах его переработки до уровней, при которых эти микроорганизмы не наносят существенный вред здоровью человека. Низкотемпературная пастеризация осуществляется при температуре не выше 76 °С и сопровождается инактивацией щелочной фосфатазы. Высокотемпературная пастеризация осуществляется при температуре от 77 до 100 °С и сопровождается инактивацией как фосфатазы, так и пероксидазы. Контроль эффективности пастеризации осуществляется одним из следующих методов:

а) биохимическим методом (в зависимости от температуры пастеризации – проба на фосфатазу или проба на пероксидазу, ферментные пробы) путем испытания проб молока или продуктов его переработки. Отбор таких проб осуществляется из каждого резервуара после его наполнения пастеризованным продуктом;

б) микробиологическим методом путем испытания проб молока или продуктов его переработки на наличие санитарно-индикаторных микроорганизмов. Отбор таких проб осуществляется после охлаждения продуктов, прошедших термическую обработку. Периодичность контроля эффективности пастеризации устанавливается программой производственного контроля.

Основная цель пастеризации* – уничтожение патогенной и токсинообразующей микрофлоры и инактивация ферментов. В результате исключается передача через молоко и молочные продукты инфекционных заболеваний и обеспечивается более длительный срок хранения.

В молоко от больной коровы, с рук переболевших работников, из загрязненного корма, питьевой воды, посуды и т. д. могут попасть такие патогенные микроорганизмы, как кишечная палочка, возбудители туберкулеза, бруцеллеза, чумы, сибирской язвы и т. д. Эти заболевания могут через молоко передаваться человеку. Стойкость различных патогенных микроорганизмов к температуре неодинакова. Как правило, патогенные микроорганизмы погибают при относительно невысоких температурах. Наиболее стойкой к нагреванию среди неспорообразующих микроорганизмов является туберкулезная

* Термин получил название по имени французского ученого Луи Пастера, предожившего тепловую обработку для обеззараживания продуктов и предохранения их от порчи.

палочка. Это можно объяснить тем, что в клетках возбудителя туберкулеза количество липидов и липоидов может достигать 20–40%, тогда как в клетках других бактерий – 3–10%, что и обеспечивает устойчивость микроорганизма к высоким температурам. Считается, что возбудитель туберкулеза погибает при температурах 60–65 °С в течение 30 мин. Однако есть сведения, что для уничтожения туберкулезной палочки необходима более высокая температура (75 °С с выдержкой 30 мин). Это объясняется тем, что стойкость к температурным режимам в зависимости от многочисленных факторов у разных штаммов может быть неодинаковой. Поэтому при использовании молока от коров с подозрением на туберкулез необходимо нагревать его до температуры 80 °С в течение 30 мин или кипятить. Молоко от заболевших животных необходимо уничтожать. Остальная неспорообразующая патогенная микрофлора погибает при более низких температурных режимах, чем туберкулезная палочка. В связи с этим при обосновании режимов пастеризации молока за основу принимают тепловую устойчивость туберкулезной палочки.

Одними из санитарно-показательных микроорганизмов, которые могут привести к различного рода токсикозам и кишечным отравлениям, являются бактерии группы кишечной палочки и сальмонеллы. Наличие этих бактерий в молоке говорит о нарушении требуемых санитарно-гигиенических условий производства молока. Они не выдерживают нагревания молока до 60 °С в течение 30 мин.

С помощью пастеризации в молоке можно уничтожить лишь вегетативные формы микрофлоры, так как наличие спор повышает тепловую устойчивость микроорганизмов на 10–15, а иногда и на 50 °С.

Нагревание молочного сырья до температур пастеризации приводит к инаktivации ферментов, тепловая устойчивость которых также индивидуальна, как и тепловая устойчивость микроорганизмов. Температурные режимы пастеризации, принятые в молочной промышленности, полностью инаktivируют щелочную фосфатазу. Известно, что после нагревания молока до 65 °С в течение 30 мин фосфатаза в нем не обнаруживается. Тепловая инаktivация фосфатазы используется в молочной промышленности для определения эффективности пастеризации при производстве питьевого пастеризованного молока. Эффективность пастеризации молочного сырья, проводимой при более высоких температурах, например, при производстве кисломолочных напитков или масла, определяется пробой на ксантиноксидазу, инаktivация которой происходит при температурах около 80 °С. Протеазы инаktivируются при температурах выше 75 °С, нативные липазы – при температуре 80 °С, а бактериальные липазы – при температуре 90 °С.

Сущность теплового разрушения микроорганизмов и ферментов состоит в тепловой денатурации белковых компонентов клеток, при которой происходит разрывание их полипептидных цепей с потерей биологических свойств. Теоретические основы пастеризации описываются уравнением Дальберга; они дополнены Г.А. Куком применительно к туберкулезной палочке:

$$\ln z = \alpha - \beta t, \quad (23)$$

где z — время воздействия температуры, с; α, β — коэффициенты, которые, по данным Кука, для туберкулезной палочки имеют, соответственно, значения 36, 84 и 0,48; t — температура пастеризации, °C.

Уравнение Дальберга-Кука показывает взаимозависимость температуры и времени для разрушения микроорганизмов и ферментов. Уничтожение микроорганизмов и инактивация ферментов от теплового воздействия протекают не мгновенно, а по истечении некоторого времени. Ниже приведены результаты расчетов Кука для молока.

$t, ^\circ\text{C}$	61,1	62	64	66	68	70	72	76
$z, \text{с}$	1930	1188	456	174	67	25,6	9,8	1,4

На производстве фактическое время выдержки Q при тепловой обработке молочного сырья не должно быть меньше теоретических значений z . При $Q = z$ процесс пастеризации считается проведенным правильно; при $Q < z$ процесс пастеризации не обеспечивает безопасность продукта; при $Q > z$ процесс пастеризации излишне длителен. Средний эффект пастеризации равен отношению Q/z . По предложению Кука эта величина была названа критерием Пастера и стала обозначаться символом R_a . Для любого бесконечно малого отрезка времени dQ элементарный эффект пастеризации равен dQ/z , а суммарный эффект за время z обозначается следующим образом: $R_a = \int dQ/z$. Для завершения процесса пастеризации и обеспечения безопасности молочных продуктов критерий Пастера должен быть равен единице или больше нее.

На основании теоретических выводов для производства молочных продуктов были разработаны три вида режимов пастеризации молочного сырья, обеспечивающие уничтожение туберкулезной палочки, бактерий группы кишечной палочки и других патогенных микроорганизмов, а также инактивацию ферментов:

Длительная пастеризация $t = 65^\circ\text{C}$, $z = 1800$ с (30 мин).

Кратковременная пастеризация $t = 71\text{--}74^\circ\text{C}$, $z = 40$ с.

Мгновенная пастеризация $t = 85^\circ\text{C}$, $z = 8\text{--}10$ с.

Эффективность пастеризации молочного сырья при производстве различных молочных продуктов зависит не только от темпера-

туры и времени проведения процесса. Большое значение имеет первоначальное бактериальное обсеменение и механическая загрязненность сырого молока. Эффективность пастеризации выражают отношением количества бактерий, уничтоженных пастеризацией, к количеству бактерий, содержащихся в исходном молоке. Эффективность пастеризации должна достигать 99,5–99,98%. Для обеспечения такого значения сырье должно содержать не более $3 \cdot 10^5$ КОЕ в 1 см^3 общего количества бактерий (мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов), причем термостойких бактерий должно быть не более $3 \cdot 10^4$ в 1 см^3 , а бактерии группы кишечной палочки не должны обнаруживаться в $0,001 \text{ см}^3$ сырья.

Эффективность пастеризации по трем показателям после секции охлаждения пастеризационной установки контролируют на производстве не реже 1 раза в декаду. Бактерии группы кишечной палочки не должны быть обнаружены в 10 см^3 молока, проба на фосфатазу должна быть отрицательной, а общее количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов – не выше 10000 в 1 см^3 .

На производстве в зависимости от качества молочного сырья приходится несколько повышать фактическую температуру пастеризации или выдержку для обеспечения безопасности молочных продуктов.

Вместе с тем от температуры пастеризации молочного сырья зависят технологические и органолептические показатели молочных продуктов.

При производстве питьевого пастеризованного молока температура пастеризации, как правило, не превышает 74–78 °С в течение 15–20 с. Этот режим достаточен для уничтожения бактерий группы кишечной палочки и туберкулезной палочки (при условии переработки доброкачественного молочного сырья). Фасованное в герметичную упаковку, пастеризованное в таком режиме и охлажденное до температуры 2–6 °С молоко может храниться до 3 суток. Пастеризация и охлаждение молока при этом осуществляются в автоматизированных пластинчатых пастеризационно-охладительных установках с автоматическим возвратом непастеризованного молока на повторную пастеризацию. Контроль температуры ведется по термogramме (рис. 4.1) и пробе на фосфатазу в пастеризованном молоке. Исключение составляет топленое молоко, при производстве которого температура пастеризации повышается до 95–99 °С с выдержкой до 3–5 ч. Это объясняется тем, что топленое молоко по стандарту должно иметь привкус перепастеризованного молока и белый цвет со светло-кремовым оттенком. При таких режимах пастеризации сывороточные белки денатурируют почти на 100% (кроме протеозо-

пептонной фракции). Привкус перепастеризации и светло-кремовый оттенок придают продукту высвободившиеся сульфгидрильные группы и образующиеся меланоидиновые соединения.

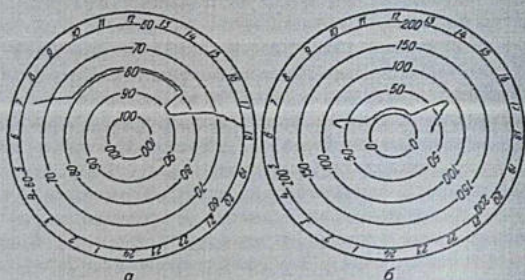


Рис. 4.1. Термограмма пастеризации (а) и охлаждения (б) молока

Технология кисломолочных напитков (кефир, простокваша, йогурт и др.) предусматривает длительный процесс сквашивания при оптимальной температуре развития не только микрофлоры заквасок, но и остаточной микрофлоры сырого молока. С повышением температуры пастеризации молока увеличивается прочность сгустков и снижается интенсивность отделения сыворотки от сгустка (синерезис). Эти свойства сгусток приобретает благодаря денатурации сывороточных белков, происходящей при высоких температурах пастеризации. Денатурированные сывороточные белки образуют с казеином комплексы и участвуют в образовании структуры белковых сгустков при коагуляции казеина. Для увеличения прочности белковых сгустков и предотвращения выделения сыворотки во время хранения при производстве кисломолочных напитков применяют следующие режимы пастеризации: 85–87 °С с выдержкой 10–15 мин; 90–95 °С с выдержкой 28 мин; 95–99 °С с выдержкой от 60 мин (варенец) до 3–5 ч (ряженка). Эти режимы обеспечивают безопасность продукта с точки зрения санитарно-гигиенических требований и придают ему направленные технологические и органолептические свойства. При производстве кисломолочных напитков молоко пастеризуют в автоматизированных пластинчатых и трубчатых установках, а пастеризацию с длительной выдержкой продукта можно осуществлять в ваннах длительной пастеризации (ВДП) или резервуарах, снабженных теплообменной рубашкой и термоизолированным корпусом.

Понижение температуры пастеризации молока используется при производстве творога и сыра для уменьшения прочности белковых сгустков и повышения интенсивности отделения сыворотки от сгустка (усиливается синерезис). Температура пастеризации молока при выработке всех видов творога должна быть не выше 80 °С, для того чтобы степень денатурации сывороточных белков была невысока. Этим обеспечивается низкая влагоудерживающая способность казеинового сгустка, а сывороточные белки в этом случае не образуют с ним комплексы и выделяются вместе с сывороткой. Однако температура пастеризации при производстве творога может быть и выше 80 °С при условии, что в последующем белковый сгусток будет подвергнут тепловой обработке для усиления синерезиса.

Самая низкая температура пастеризации молока применяется при производстве твердых сычужных сыров (72–76 °С с выдержкой 20–25 с), так как в этом случае имеет место минимальная степень денатурации сывороточных белков для обеспечения наименьшей влагоудерживающей способности сырного зерна. Учитывая низкую температуру пастеризации, необходимо применять высококачественное молочное сырье для производства сыров, чтобы обеспечить микробиологическую безопасность продукта. Кроме того, наряду с пастеризацией в производстве сыров применяют бактериофугирование или микрофльтрацию молока.

При выработке высокожирных продуктов (сметаны, масла) применяют другие режимы пастеризации сырья. Это связано с тем, что жир плохо проводит теплоту и требуются более высокие температуры для обеспечения микробиологической безопасности продукта. При этом чем выше массовая доля жира в сырье, тем выше температура пастеризации. При производстве питьевых пастеризованных сливок температура пастеризации варьирует от 78–80 °С (сливки с массовой долей жира 8–10%) до 85–87 °С с выдержкой 15–20 с (сливки с массовой долей жира 20–35%). Примерно такие же режимы применяют при пастеризации сливок в производстве сметаны. В технологическом процессе производства сливочного масла режимы пастеризации сливок несколько выше, так как это продукт более длительного хранения, чем пастеризованные сливки и сметана. Готовый продукт не должен содержать ферменты молока – липазу, галактазу, пероксидазу, которые разрушаются при температуре выше 85 °С. Повышение температуры пастеризации сливок при производстве масла обусловлено также необходимостью образования сульфгидрильных групп, которые появляются при денатурации сывороточных белков.

Они понижают окислительно-восстановительный потенциал плазмы и выступают в роли антиокислителей.

При производстве сгущенных и сухих молочных консервов температура пастеризации молока находится в пределах 95–105 °С из-за необходимости обеспечения более длительного хранения этих продуктов.

При производстве различных продуктов из молочной сыворотки последнюю не пастеризуют при высоких температурах во избежание денатурации и осаждения сывороточных белков.

Пастеризации должно подвергаться все молочное сырье, поступающее на переработку. Однако на практике иногда в силу разных причин нет возможности сделать это в течение 24 ч после поступления молока на молочный завод. При таких условиях даже глубокое охлаждение не является достаточным для предотвращения порчи молока; при низких температурах в молоке могут накапливаться токсины, не уничтожающиеся затем при температурах пастеризации. В этом случае молоко предварительно нагревают до температур ниже температуры пастеризации (63–65 °С с выдержкой 15 с и последующим охлаждением до 4 °С) и проводят термизацию молока. Термизация – процесс термической обработки сырого молока или продуктов переработки молока. Термизация осуществляется при температуре от 60 до 68 °С с выдержкой до 30 с, при этом сохраняется активность щелочной фосфатазы молока.

Термизация не обеспечивает безопасности продуктов с точки зрения микробиологической и ферментативной порчи. При этом режиме частично подавляется развитие микрофлоры и не инактивируется фосфатаза. Термизацию рекомендуют проводить при производстве стерилизованного молока для прораствания спор. После нагревания, выдержки и охлаждения его хранят 24 ч до переработки, а затем направляют на производство стерилизованного молока. Считается, что термизация положительно воздействует на развитие некоторых спорообразующих бактерий, которые будут разрушены при последующей стерилизации.

Для того чтобы сохранить молоко более длительный период, чем обычный для пастеризованных продуктов, прибегают к ультрапастеризации (ESL-молоко или молоко с длительным сроком хранения). Молоко нагревают до температур 125–138 °С в течение 2–4 с и охлаждают до температуры ниже 7 °С. Срок хранения молочных ESL-продуктов колеблется от 2–16 до 30–40 дней в зависимости от качества сырья, упаковки, уровня санитарно-гигиенических условий производства, режимов охлаждения, хранения, транспортирования и реализации.

4.5. Стерилизация молочного сырья

Стерилизация – процесс термической обработки сырого молока или продуктов его переработки. Стерилизация осуществляется при температуре выше 100 °С с выдержкой, обеспечивающей соответствие готового продукта переработки молока требованиям промышленной стерильности. Контроль эффективности стерилизации осуществляется путем испытания проб молока и продуктов его переработки в целях проверки их соответствия требованиям промышленной стерильности. Периодичность контроля эффективности стерилизации и ультрапастеризации устанавливается программой производственного контроля;

Ультрапастеризация – процесс термической обработки сырого молока и продуктов его переработки. Ультрапастеризация осуществляется в потоке в закрытой системе с выдержкой не менее чем две секунды одним из следующих способов:

а) путем контакта обрабатываемого продукта с нагретой поверхностью при температуре от 125 до 140 °С;

б) путем прямого смешивания стерильного пара с обрабатываемым продуктом при температуре от 135 до 140 °С. Ультрапастеризация с последующим асептическим упаковыванием обеспечивает соответствие продукта требованиям промышленной стерильности. Контроль эффективности ультрапастеризации осуществляется путем испытания проб молока и продуктов его переработки в целях проверки их соответствия требованиям настоящего Федерального закона. Периодичность контроля эффективности ультрапастеризации устанавливается программой производственного контроля.

Цель стерилизации и ультрапастеризации – уничтожение всех вегетативных и споровых форм бактерий и инактивация ферментов.

4.5.1. Термоустойчивость молочного сырья

В производстве стерилизованных молочных продуктов учитывают такой показатель, как термоустойчивость молока. Термоустойчивость, в свою очередь, зависит от стойкости казеина и сывороточных белков и сохранения коллоидной суспензии при воздействии высоких температур. Все это связано с химическим составом молока, который зависит от периода лактации, времени года, породы и индивидуальных особенностей коров и т. д. Так, молозиво и стародойное молоко обладают низкой термоустойчивостью. Термоустойчивость молока, полученного весной и осенью, низкая, поэтому для производства стерилизованных молочных продуктов наиболее оптимальным по термоустойчивости будет молоко, полученное летом.

Минеральный состав молочного сырья является определяющим для его тепловой стабильности, в особенности содержание цитрата и фосфата кальция или магния. Действие солей кальция и магния противоположно действию цитратов и фосфатов. Излишек или недостаток любой из этих солей способствует быстрому свертыванию молока. При оптимальном их соотношении молоко наиболее устойчиво к высоким температурам. В большинстве случаев коагуляция белков происходит при избытке солей кальция или магния. Добавление цитратов или фосфатов делает молоко более термоустойчивым.

На термоустойчивость сгущенного молока влияет массовая доля сухих веществ. С ее повышением до 26–30% термоустойчивость снижается. Для цельного молока этот фактор большого значения не имеет.

Важнейшую роль в термоустойчивости молока играет размер частиц казеина и его фракционный состав. Более устойчив к нагреванию κ -казеин. Мелкие частицы ККФК содержат больше κ -казеина, чем крупные, поэтому чем мельче мицеллы ККФК, тем более он стабилен к нагреванию. Молоко с крупными частицами казеина, с низким содержанием κ -фракции и высоким содержанием коллоидного фосфата кальция и β -казеина быстрее свертывается при нагревании. На термоустойчивость влияет также количество сывороточных белков в молоке, особенно термолабильного β -лактоглобулина.

Термоустойчивость свежесвыдоенного молока быстро ухудшается при неблагоприятных условиях его получения, первичной обработки, хранения, доставки на молочные заводы и переработки. Важнейшей причиной тепловой неустойчивости молока при переработке является повышение его кислотности вследствие молочнокислого брожения, происходящего в недостаточно охлажденном молоке с высокой бактериальной и механической загрязненностью. Только при условии строгого соблюдения санитарно-ветеринарных правил получения, хранения молока на фермах и времени его транспортирования можно обеспечить сохранность качества молока, его свежесть и термоустойчивость. Поэтому предназначенное для стерилизации молоко хранят только очищенным и глубоко охлажденным (4–5 °C). При производстве стерилизованного молока и стерилизованных молочных продуктов нужно проводить подготовительные технологические операции таким образом, чтобы сохранить или повысить термоустойчивость молока.

Если молоко перед стерилизацией подлежит длительному хранению (более 4 ч), то для сохранения термоустойчивости его рекомендуется пастеризовать при температуре 74–76 °C с последующим охлаждением и хранением при температуре 4–6 °C. Это позволит

резервировать молоко и иметь его определенный запас для обеспечения бесперебойной работы стерилизационных установок.

Кислотность молока после пастеризации и охлаждения снижается на 1–1,5 °Т, в то время как кислотность сырого охлажденного молока при хранении повышается на 1–1,5 °Т и более. Сырое охлажденное молоко после 24 ч хранения не выдерживает кальциевой и алкогольной проб и непригодно для производства стерилизованного молока, тогда как термоустойчивость пастеризованного молока удовлетворительна.

Перед стерилизацией рекомендуется также предварительно нагревать молоко для стабилизации его белков. Однако в этом случае при хранении готового продукта появляется осадок или гель. Для того чтобы дестабилизированные белки не откладывались в виде жесткого, плохо смывающегося осадка на пластинах стерилизатора в пластинчатых стерилизационных установках, для удаления дестабилизированных белков после секции подогрева молоко поступает в сепаратор-очиститель. Деаэрация молока при температурах 75–85 °С в течение 3–5 мин перед стерилизацией также способствует стабилизации белков и уменьшению осадка на греющей поверхности стерилизационной установки.

Роль предварительного нагрева в стабилизации белков связана главным образом с образованием комплекса между β -лактоглобулином и κ -казеином. При нагревании молока на поверхности мицелл казеина образуется комплекс β -лактоглобулин- κ -казеин, который защищает их от внешнего воздействия, и термоустойчивость молока повышается. Если связь комплекса β -лактоглобулин- κ -казеин с мицеллой ККФК непрочна или β -лактоглобулин остается в растворимом состоянии, термоустойчивость молока понижается. Прочность связи комплекса β -лактоглобулин- κ -казеин с мицеллой зависит от режима тепловой обработки и pH. Оптимальные значения pH – 6,5–6,7; температуры – 80–90 °С. За счет этого взаимодействия повышается поверхностный заряд и степень гидратации казеиновых мицелл, т. е. усиливается их стабильность при тепловой обработке. Вместе с тем при тепловой обработке снижается pH молока из-за перехода гидро- и дигидрофосфатов кальция в коллоидное состояние и дефосфорилирования казеина. Чтобы уменьшить концентрацию ионов кальция, коллоидного фосфата кальция и денатурированных сывороточных белков, вносят соли-стабилизаторы.

Режимы предварительной тепловой обработки находятся в широких пределах от 70 до 135 °С с выдержкой от нескольких секунд до 30 мин. Это зависит от вида конечного продукта, качества исход-

ного сырья и вида стерилизационных установок. Считается, что достаточным для стабилизации белков режимом предварительного нагревания молока перед стерилизацией является температура 75–85 °C с выдержкой 20 с.

Для восстановления солевого равновесия молока при производстве стерилизованных продуктов в него добавляют соли-стабилизаторы, в качестве которых используют фосфаты или цитраты натрия или калия. Кроме того, восстановить солевой баланс в нетермостойчивом молоке можно, пропустив его через ионообменную колонку с катионитовыми и анионитовыми фильтрами. При этом удаляется избыток ионов кальция и магния из молока и происходит частичная замена их в казеиновом комплексе натрием и калием, что способствует лучшему диспергированию казеиновых частиц и повышению их коллоидной устойчивости.

Контроль термоустойчивости молока проводят при поступлении его на предприятие и затем – после нормализации перед направлением на стерилизацию. Термоустойчивость определяют с помощью алкогольной, тепловой, кальциевой и фосфатной проб.

При постановке всех проб молоко считают пригодным для стерилизации, если оно не свертывается по алкогольной пробе при концентрации спирта 75% и выше; по тепловой пробе – при нагревании до 130 °C в течение 30–60 мин; по кальциевой пробе – при добавлении в него (10 см³) 1%-ного раствора хлорида кальция (до 0,5 см³); по фосфатной пробе – при добавлении в него (10 см³) дигидрофосфата калия (до 1 см³) и кипячении на водяной бане в течение 5 мин.

Термоустойчивость молока можно контролировать с помощью приборов «Термол-1» и КСМК «Луч», разработанных во ВНИИМ. Работа с помощью прибора «Термол-1» осуществляется следующим образом. Пробу молока в ячейке ступенчато нагревают до заданной температуры, выдерживают, после чего подвергают анализу гидромеханическим методом для выявления коагуляции белка. Диапазон от 80 до 140 °C с дискретностью 10 °C и продолжительностью выдержки 0,5; 1,0 и 2,0 мин. Общее время контроля одной пробы – 23 мин. Прибор выдает информацию в цифровой форме и в виде звукового сигнала в момент термокоагуляции. Термоустойчивость молока с помощью прибора КСМК «Луч» контролируют по массовой концентрации ионного кальция. В термоустойчивом молоке при температуре 140 °C по прибору «Луч» концентрация ионного кальция должна находиться в пределах от 3,2 до 7,0 мг/100 см³. Количество растворимого кальция при этом составляет от 3,1 до 2,75 мг/100 см³.

В соответствии с ГОСТ 52054-2003, молоко-сырье, предназначенное для производства стерилизованного молока, должно отвечать требованиям высшего и первого сортов, выдерживать алкогольную пробу с 70–75%-ным этиловым спиртом и иметь следующие показатели: кислотность 16–18 °Т; степень чистоты по эталону – не ниже 1-й группы; КМАФАнМ в 1 см³ – не выше 300 тыс. КОЕ; количество соматических клеток в 1 см³ – не выше 500 тыс.

Сливки и обезжиренное молоко, предназначенные для стерилизации, должны быть не ниже первого сорта, выдерживать алкогольную пробу с 75%-ным этиловым спиртом. Сливки должны иметь кислотность в плазме не выше 22 °Т, массовую долю жира – не более 30%. Обезжиренное молоко должно иметь кислотность не выше 19 °Т.

4.5.2. Способы и режимы стерилизации молочного сырья

В молочной промышленности молочное сырье стерилизуют по трем принципиальным схемам:

- одноступенчатая в упаковке – после розлива молока в упаковку и ее герметичной укупорки при температуре 115–120 °С с выдержкой 15–30 мин;
- двухступенчатая – предварительная стерилизация молочного сырья в потоке при температуре 130–150 °С в течение нескольких секунд, а затем вторичная стерилизация после розлива молока или молочных продуктов в упаковку и ее герметичной укупорки при температуре 115–120 °С в течение 15–20 мин;
- одноступенчатая с асептическим розливом – косвенная или прямая стерилизация молочного сырья при температуре 135–150 °С в течение нескольких секунд с последующим фасованием в асептических условиях в стерильную тару.

В зависимости от особенностей производства и фасования готового продукта молочное сырье стерилизуют периодическим и непрерывным способами.

Стерилизацию периодическим способом проводят, помещая продукт в упаковку (стеклянных или пластмассовых бутылках) в автоклав и создавая в нем разрежение 0,08 МПа, что соответствует температуре 121 °С. При этой температуре продукт выдерживается 15–30 мин. Затем температуру снижают до 20 °С. На стерилизацию молоко поступает нормализованным, гомогенизированным, прошедшим предварительный нагрев.

Стерилизация непрерывным способом в упаковке осуществляется в гидростатических башенных стерилизаторах (рис. 4.2). Фасо-

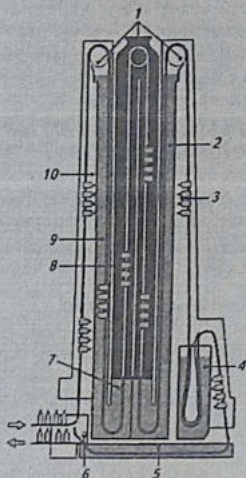


Рис. 4.2. Гидростатический башенный стерилизатор непрерывного действия:

1 – верхние ваты и колеса с индивидуальным приводом; 2, 3, 4, 5, 6 – соответственно, 1-я, 2-я, 3-я, 4-я и заключительные стадии охлаждения; 7 – 3-я стадия нагрева; 8 – секция стерилизации; 9 – 2-я стадия нагрева; 10 – 1-я стадия нагрева

ванный в бутылки продукт подается в первую башню стерилизатора, где нагревается до $(86 \pm 1)^\circ\text{C}$. Во второй башне продукт в бутылках нагревается до температуры $115\text{--}125^\circ\text{C}$ и выдерживается в зависимости от объема бутылки 20–30 мин. В третьей башне стерилизатора бутылки охлаждаются до температуры $(65 \pm 5)^\circ\text{C}$, в четвертой – до $(40 \pm 5)^\circ\text{C}$. Дальнейшее охлаждение идет в камере хранения продукта. Весь цикл обработки в башенном стерилизаторе составляет приблизительно 1 ч. Такое молоко хранится при температуре $1\text{--}20^\circ\text{C}$ не более 2 мес со времени выработки.

Стерилизация молочного сырья после розлива в упаковку в горизонтальном ротационном стерилизаторе с клапанным затвором (рис. 4.3) осуществляется при температуре $132\text{--}140^\circ\text{C}$ в течение 10–12 мин. Весь цикл обработки составляет 30–35 мин. Для более длительного хранения молока и молочных продуктов применяют ультравысокотемпературную обработку молочного сырья в потоке (УВТ-обработка), проводимую при $135\text{--}145^\circ\text{C}$ с выдержкой 2–4 с с обязательным проведением технологического процесса после стерилизации и фасовки в асептических условиях.

УВТ-обработка молока обеспечивает уничтожение в нем бактерий и их спор, инактивацию ферментов при минимальном изменении его вкуса, цвета и пищевой ценности. Требуемые для этого температура и продолжительность нагревания находятся в зависимости от количества и вида спорообразующей микрофлоры в исходном сырье. Обычно присутствие большого числа спорообразующей микрофлоры в молоке связано с повышенным общим бактериальным обсеменением молока. При отборе молока для УВТ-обработки этот

факт следует принимать во внимание и использовать сырье с общим количеством бактерий не более $3 \cdot 10^5$ КОЕ в 1 см^3 .

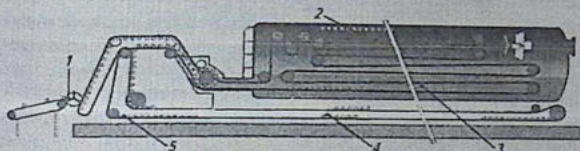


Рис. 4.3. Горизонтальный ротационный стерилизатор с клапанным затвором:

1 – автоматическая загрузка бутылок или консервных банок; 2 – секция стерилизации; 3 – область предварительного охлаждения; 4 – заключительное охлаждение при атмосферном давлении; 5 – выгрузка с конвейера

УВТ-обработку молочного сырья в потоке с асептическим розливом проводят с использованием двух способов нагрева:

- прямого (пароконтактного) нагрева впрыскиванием (инъекцией) пара в молоко, либо подачей молока в среду пара (рис. 4.4, 4.5);
- косвенного (непрямого) нагрева молока через теплопередающую поверхность.

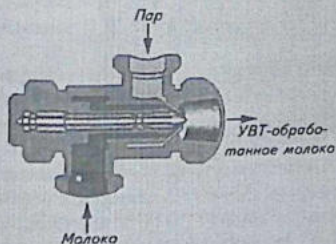


Рис. 4.4. Патрубок инъекции пара в молоко в пароконтактной установке для УВТ-обработки молока

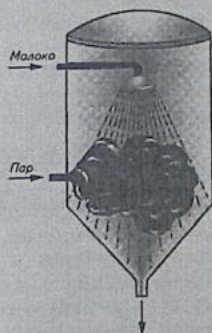


Рис. 4.5. Стерилизационная камера нагрева молока путем впрыскивания в пар

Прямой нагрев молочного сырья эффективен в случае необходимости моментального его нагрева до температур стерилизации. Молоко мгновенно нагревается до 140–145 °С и поступает в выдерживатель на 1–3 с. При этом воздействие на молочное сырье минимальное вследствие мгновенных нагрева и охлаждения. К недостаткам такого способа можно отнести то, что в системах прямого воздействия продукт вступает в прямое соприкосновение с нагревающей средой. Этот факт заставляет предъявлять более высокие требования к сырью и пару, который применяют для нагрева. Молочное сырье должно обладать высокой термоустойчивостью, а пар должен подвергаться особой очистке, чтобы не быть источником загрязнения стерилизованного молока.

Кроме того, в результате прямого нагрева молочное сырье имеет повышенную влажность из-за попадания в него конденсата, в который превращается пар при соприкосновении с более холодным молоком. Конденсат удаляется из молока в вакуум-камере, куда поступает стерилизованное молоко из выдерживателя. В вакуум-камере поддерживается разрежение 0,04 МПа, при котором молоко кипит при температуре около 80 °С. Конденсат, попавший в молоко в камере стерилизации, удаляется из молока вместе с паром при кипении.

При косвенном способе нагрев молочного сырья осуществляется от нагревающей среды через теплопередающую поверхность в теплообменных установках. Наиболее распространенными в молочной промышленности установками, предназначенными для стерилизации молочного сырья и охлаждения стерилизованного продукта, являются пластинчатые (рис. 4.6) и трубчатые (рис. 4.7) теплообменные установки.

Пластинчатый теплообменник состоит из набора (пакета) пластин из нержавеющей стали, стянутых в одну конструкцию. Такая конструкция может состоять из нескольких пакетов пластин, составляющих отдельные секции, в которых осуществляются различные этапы обработки молока и молочных продуктов. Например, секция для первичного нагрева до температуры 75–80 °С, секция для основного нагрева до температуры стерилизации (137 ± 1) °С и секция охлаждения до температуры 4–20 °С. Нагревающей средой в этих теплообменниках является горячая вода, а охлаждающей – холодная (ледяная) вода или пропиленгликоль в зависимости от конечной температуры продукта на выходе.

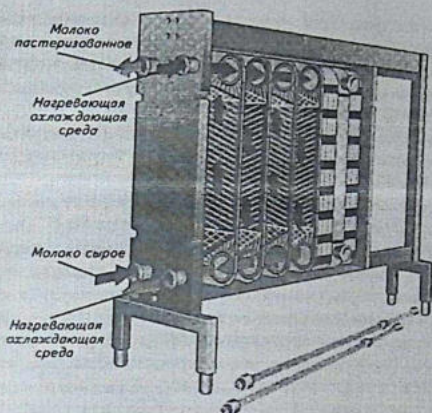


Рис. 4.6. Пластиначная установка для косвенной УВТ-обработки молока

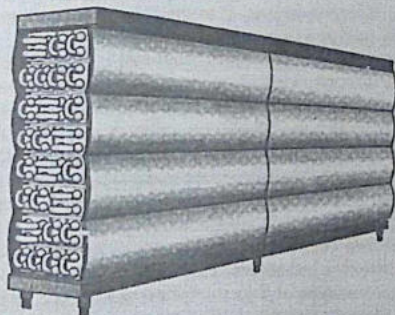


Рис. 4.7. Общий вид установки для УВТ-обработки молока

Примером пластиначатой стерилизационной установки может служить установка «Steritherm» шведской фирмы «Tetra-Pak».

Подогрев молока с 7 до 66 °С осуществляется в 3-й секции пластиначатого теплообменника за счет регенерации от стерилизованно-

го молока, поступающего туда из асептического гомогенизатора. Во 2-й секции теплообменника молоко нагревается до температуры $(76 \pm 2)^\circ\text{C}$, выдерживается в выдерживателе спирального типа 120 с и подается в саморазгружающийся сепаратор-молокоочиститель для удаления дестабилизированного белка. Затем молоко подвергается деаэрации и гомогенизации, поступает в 1-ю секцию теплообменника для стерилизации при температуре $(140 \pm 2)^\circ\text{C}$ за счет теплообмена с циркулирующей под давлением нагретой водой, выдерживается в трубчатом выдерживателе 4 с, откуда направляется во 2-ю и 3-ю секции для охлаждения до температуры не выше 20°C (во 2-й секции — до 70°C , в 3-й — до 20°C). Охлажденное молоко поступает по асептическому молокопроводу в асептический резервуар, из которого под давлением очищенного стерилизованного воздуха оно подается на автомат для асептического розлива.

Температура воды, предназначенной для стерилизации, должна быть 157°C . Это достигается за счет впрыскивания пара в воду при прохождении ее через паровой инжектор. В стерилизаторе горячая вода отдает теплоту молоку, и ее температура падает до 75°C . Дальнейшее охлаждение воды происходит в 4-й и 5-й секциях теплообменника за счет подачи водопроводной воды.

Трубчатые теплообменники бывают многоканальными и одноканальными, многотрубными и однотрубными. В молочной промышленности наибольшее применение нашли последние.

Многотрубный теплообменник работает по классической схеме трубы в кожухе, когда жидкий продукт течет по параллельным трубам, а нагревающая или охлаждающая жидкости — между ними и вокруг них противотоком. Теплопередающая поверхность теплообменника состоит из набора прямых гофрированных или гладких труб. Эффективность теплопередачи создается спиральным рифлением оболочки. Трубы вварены в пластины с обоих концов, которые, в свою очередь, крепятся к наружному кожуху с использованием двойных уплотнительных колец. Такая «плавающая» конструкция при необходимости позволяет извлекать трубы продуктопровода, отвернув торцевые болты. Таким образом можно разбирать узел для осмотра. «Плавающая» конструкция также поглощает тепловое расширение и позволяет заменять наборы труб в кожухе и устанавливать их в различном сочетании в зависимости от назначения.

Однотрубный теплообменник состоит из одной внутренней трубы, способной пропускать частицы диаметром до 50 мм.

Трубчатые стерилизационные установки «Steritub» и «Tetra Therm Aseptic Flex» также выпускает шведская фирма «Tetra-Pak».

Они включают в себя теплообменные секции для подогрева, стерилизации и охлаждения продукта, а также для подогрева воды.

Максимальная температура стерилизации, которую могут обеспечить данные установки, — 160 °С. Технологический цикл состоит из следующих операций: стерилизация установки, стерилизация продукта в режиме «производство», асептическая промежуточная мойка, окончательная мойка.

Стерилизация трубчатой стерилизационной установки осуществляется горячей водой температурой 137–140 °С, циркулирующей под давлением в течение 30 мин. Температуру контролируют датчики температуры, один из которых находится в трубе для выдержки. В асептической части стерилизация осуществляется при этих же температурах. В случае падения температуры в асептическом резервуаре таймер автоматически возвращается в исходное положение и процесс запускается повторно, когда достигается заданная величина.

С началом подачи продукта прекращается подача воды в установку. Вода вытесняется к стоку из-за наполнения уравнительного бака продуктом.

При режиме «производство» в первой секции происходит нагрев продукта с 5–15 до 55–75 °С в течение 30 с. Во второй секции продукт нагревается до 120–130 °С и в третьей — до температуры стерилизации 138–140 °С в течение 3–4 с. В 4-й и 5-й секциях продукт охлаждается до 20 °С и вытесняется из установки стерильной водой. При подаче продукта в стерилизатор давление должно быть не менее 0,2 МПа, но не более 0,3 МПа, при выпуске продукта нормальное давление — 0,1 МПа.

После стерилизации продукт поступает либо в асептический резервуар, либо в асептический упаковочный автомат. Идущая к ним выпускная труба должна быть короче и с минимальным количеством соединений или без них. Причем эти соединения должны быть сварными и отполированными или протравленными химическими веществами.

Установка марки «Steritub» предназначена для производства стерилизованных продуктов низкой вязкости (молока и сливок), но более модифицированные установки можно использовать для стерилизации вязких продуктов, таких как пудинги.

Для проведения процесса стерилизации на установке «Steritub» используют питьевую воду, воду для продукта и воду для технических нужд. Питьевая вода служит для очистки (мойки) и промывки продукта. Качество этой воды должно соответствовать требованиям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) или директивным указаниям по качеству питьевой воды Европейского экономического

сообщества (ЕЭС). Водой для продукта разбавляют концентрированные продукты. Качество воды должно также соответствовать требованиям ВОЗ и ЕЭС. Вода для технических нужд используется для охлаждения, создания напора и питания котла. Она не должна содержать твердых частиц железа или марганца, излишнего хлора. Такую воду умягчают, доводя pH до 7,0–8,5.

Стерилизованные молочные продукты, полученные одноступенчатым способом с асептическим проведением процесса стерилизации, имеют большой срок хранения, но это не значит, что они совсем не содержат микроорганизмов. В силу разных причин могут остаться даже споры мезофильных бактерий. Специалисты шведской фирмы Tetra-Pak рекомендуют следующий вариант проверки стерильности продукта. Чтобы установить наличие спор, образцы стерилизованного продукта нужно хранить 2 недели при температуре 30 °C. За это время должны развиваться любые сохранившиеся микроорганизмы. После этого проводят бактериологический анализ на присутствие вегетативных клеток и спор, как аэробных, так и анаэробных микроорганизмов.

Наличие клеток аэробных вегетативных микроорганизмов определяют чашечным методом. Можно использовать субстрат следующего состава (г/л): мясной экстракт – 1, дрожжевой экстракт – 2, пептон – 5, NaCl – 5, агар – 15. Инкубация – 3 дня при температуре 37 °C и pH 7,4.

Наличие спор определяют только после предварительного нагревания пробы на водяной бане до температуры 80 °C в течение 6 мин. Мазок пробы можно наносить на вышеуказанный субстрат. Инкубация – от 3 до 5 дней при температуре 37 °C.

Любые колонии, которые могут вырасти, можно проверить на наличие спор в следующем бульоне (г/л): мясной экстракт – 10, пептон – 10, NaCl – 5, pH 7,5. Чтобы уничтожить вегетативные клетки, этот бульон после инкубирования нагревают на водяной бане в течение 6 мин при температуре 80 °C. После этого проба хранится 3–6 суток при температуре 37 °C. Любое проявление роста в таком бульоне указывает на наличие спор.

Анализ вегетативных клеток и спор анаэробных микроорганизмов можно выполнить, культивируя их на том же субстрате в пробирке, закрытой пробкой из хлопчатобумажной ткани, смоченной пирогалловой кислотой для поглощения кислорода воздуха. Герметизация пробирки достигается резиновой пробкой. Инкубирование продолжается около 7 суток при температуре 37 °C.

Если в результате анализа обнаруживается, что продукт, фасованный в пакеты, нестерилизован, то нестерильность можно отнести за счет недостаточной тщательности отбора проб и бактериологиче-

ских исследований. Кроме того, нельзя исключать микробиологическое инфицирование в наполнительной установке или на асептических участках стерилизационной установки. Исследования нужно провести в разных точках асептического участка установки.

Если проверяют стерильность продукта в упаковке, то пакеты следует вскрывать в асептических условиях, лучше всего – с помощью электрической реостатной проволоки, нагретой до покраснения. Такое молоко нельзя использовать для органолептической оценки, так как оно приобретает характерный запах.

В отечественной молочной промышленности качество готового стерилизованного продукта определяют на соответствие требованиям промышленной стерильности. Промышленно стерильным является продукт, определяемый как не содержащий микроорганизмы, рост которых происходит при широко распространенных условиях. Для определения продукта на соответствие требованиям промышленной стерильности отобранные упаковки со стерилизованным молоком выдерживают в течение 3 суток при температуре 37 °C, а со стерилизованными сливками – в течение 5 суток при температуре 55 °C. После этого проводят визуальный осмотр упаковки. При вздутии упаковки продукт считают не отвечающим требованиям промышленной стерильности. Упаковку без внешних признаков порчи продукта вскрывают и проводят органолептический анализ. Продукт отвечает требованиям промышленной стерильности, если не установлено изменений консистенции и вкуса. Допускается повышение кислотности на 2 °Т и КМАФАнМ не более 1-10 КОЕ/г.

4.5.3. Факторы, влияющие на эффективность стерилизации

Эффективность стерилизации зависит от температуры нагрева и времени ее воздействия на молочное сырье. Количество спор, уничтожаемых в процессе стерилизации, существенно зависит от скорости и глубины передачи теплоты.

Для того, чтобы уничтожить максимальное количество спор, необходима такая выдержка, при которой вся жидкость будет нагрета до температуры стерилизации. При косвенном нагреве слой жидкости, граничащий со стенкой, через которую проникает тепловой поток, нагревается до температуры стерилизации значительно быстрее, чем центральная часть жидкости.

В результате неравномерного нагрева жидкость в пристенных областях находится под действием температуры более длительное время, чем в центральных. Этим достигается определенный запас эффекта стерилизации. Процесс передачи теплоты можно интенсифици-

ровать, возбуждая в жидкости конвективные токи или обеспечив перемешивание – например, молоко в бутылках стерилизуют во вращающихся автоклавах. При этом продолжительность выдержки сокращается до 20 мин при температуре 115 °C (способ стерилизации в таре).

Интенсифицировать процесс стерилизации можно повышением температуры до 135–140 °C, что сокращает время прогрева молока до 2–4 с. При этом будет максимальным воздействие на микроорганизмы и минимальным – на компоненты молока.

Во многих странах при производстве стерилизованного молока соотношение между временем и температурой стерилизации выражают через значение F_0 , которое определяют по формуле:

$$F_0 = (z/60)10^{(t-121,1)/n}, \quad (24)$$

где z – время стерилизации при температуре 1, с; t – температура стерилизации, °C; n – величина, выражающая увеличение температуры для уничтожения спор за 1/10 времени.

Величина n меняется в зависимости от происхождения спор и равна в среднем 10 °C. $F_0 = 1$ после нагревания молока при 121,1 °C в течение одной минуты. Для получения стерильного молока в промышленных масштабах из сырого молока высокого качества $F_0 = 5-6$.

Кроме температуры и выдержки при этой температуре, эффективность стерилизации зависит от микробиологического загрязнения исходного сырья, в том числе от начального обсеменения спорообразующей микрофлорой. Количество споровых форм в молоке, предназначенном для стерилизации, не должно превышать 1000 в 1 см³.

Контрольной мерой при определении завершения процесса стерилизации является степень подавления спор микроорганизмов. Количество спор, перенесших тепловую обработку (конечную концентрацию спор), можно определить с помощью микробиологических анализов. Однако полученный результат не является универсальной характеристикой, поэтому на практике эффективность стерилизации S определяют по показателю, который представляет собой логарифм отношения количества спор в стерилизованном продукте C_k к количеству спор в исходном молоке C_n в одном и том же объеме:

$$S = \lg(C_k/C_n). \quad (25)$$

Взаимосвязь между показателем эффективности стерилизации и концентрациями спор (начальной и конечной) можно представить на следующем примере. Если при одинаковой начальной концентрации спор в исходной жидкой среде $C_n = 10^5$ на 1 л задать ряд числовых значений показателя эффективности стерилизации $S = 0-(-10)$ с определенным интервалом, то можно вычислить конечную концентрацию спор:

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \lg(C_{k1}/10^5) = 0, C_{k1} = 10^5; \\
 S_2 &= \lg(C_{k2}/10^5) = -1, C_{k2} = 10^4; \\
 S_3 &= \lg(C_{k3}/10^5) = -2, C_{k3} = 10^3; \\
 S_4 &= \lg(C_{k4}/10^5) = -4, C_{k4} = 10^2; \\
 S_5 &= \lg(C_{k5}/10^5) = -4, C_{k5} = 10; \\
 S_6 &= \lg(C_{k6}/10^5) = -5, C_{k6} = 1; \\
 S_7 &= \lg(C_{k7}/10^5) = -6, C_{k7} = 10^{-1}; \\
 S_8 &= \lg(C_{k8}/10^5) = -7, C_{k8} = 10^{-2}; \\
 S_9 &= \lg(C_{k9}/10^5) = -8, C_{k9} = 10^{-3}; \\
 S_{10} &= \lg(C_{k10}/10^5) = -9, C_{k10} = 10^{-4}.
 \end{aligned}$$

В приведенном ряде значение $S_6 = \lg(C_{k6}/10^5) = -5$, соответствует наличию в 1 л одной споры. При дальнейших показателях эффективности стерилизации конечную концентрацию спор следует рассматривать по отношению к большим объемам стерилизуемой среды, так как дробные значения конечных концентраций спор не могут соответствовать действительности. Так, для показателя эффективности стерилизации $S_7 = -6$, конечная концентрация – 0,1 споры в 1 л в действительности соответствует содержанию 1 споры в 10 л, а показатель эффективности стерилизации $S_8 = -7$ соответствует содержанию 1 споры в 100 л и т. д.

В 1 л исходной жидкости может находиться различное число спор, так как молочное сырье не одинаково по бактериальной обсемененности. В связи с этим нужно подбирать, соответственно, различные режимы стерилизации для обеспечения определенного стерилизующего эффекта. Если $C_{n1} = 10^5$, а $C_{n2} = 10^6$, то при режиме стерилизации, который обеспечивает показатель эффективности $S = -7$, конечную концентрацию спор в первом случае составит 1 спора в 100 л, а во втором случае – 10 спор в 100 л ($C_{k1} = 10^{-2}$ и $C_{k2} = 10^{-1}$). Для того, чтобы получить во втором случае конечную концентрацию до 1 споры в 100 л, нужно увеличить показатель эффективности стерилизации до $S = -8$, его практически можно достичь только изменением режима стерилизации.

Эффект стерилизации должен находиться в пределах 9–10. Это значит, что количество спор в результате стерилизации должно уменьшиться в 10^9 раз – например, из 10^9 спор бактерий выживет только 1 (10^0). УВТ-обработка обычно дает эффект стерилизации, равный 10–12 в отношении спор *B. subtilis*, и 8 – в отношении спор *B. stearothermophilus*.

Расчет по предложенной формуле показывает, что достичь абсолютной стерильности невозможно, так как одну спору в маленьком объеме уничтожить нетрудно, но для уничтожения одной споры в бесконечно большом объеме потребуется бесконечно большое

время. При производстве стерилизованного молока считается допустимым присутствие одной споры в 100 л молока.

Расчет показателя эффективности стерилизации для практического применения зависит от начальной концентрации спор в молочном сырье.

Присутствие большого числа спорообразующей микрофлоры в молоке связано обычно с повышенным общим бактериальным обсеменением молока.

Основную часть спорообразующей микрофлоры в сыром молоке составляют бактерии группы *B. lichenformis*, а также *B. subtilis* и *B. pumilus*. *B. subtilis* – наиболее термостойкие из мезофильных микроорганизмов, встречающихся в сыром молоке. Высокотермофильных аэробных микроорганизмов *B. stearothermophilus*, стойких к нагреву, в сыром молоке сравнительно мало.

Однако психрофильные бактерии способны образовать термостойчивые ферменты протеазу и липазу, поэтому необходимо проверять сырье на наличие этих бактерий. При их обнаружении молочное сырье использовать для производства стерилизованных молочных продуктов не рекомендуется.

4.6. Термовакuumная обработка молочного сырья

Свежесыроденное молоко может содержать 5–7% воздуха (около 6% от объема молока). На молочном заводе молоко уже содержит до 10% воздуха, который может находиться в молоке в трех состояниях: растворенном, диспергированном и химически связанном. Соотношение этих форм изменяется под действием механической обработки, температуры и давления. Например, в процессе пастеризации при повышенных температурах растворенный воздух переходит в диспергированное состояние и может стать причиной плохого прогрева молока, а также неточного измерения объема молочного сырья; ухудшения обезжиривания; снижения точности автоматической нормализации. Если воздух концентрируется в сливках, может происходить их пригорание на поверхности теплового оборудования, преждевременное сбивание и, как результат, увеличение потерь жира при производстве масла. Наличие диспергированного воздуха в кисломолочных продуктах снижает их стабильность во время хранения (отделяется сыворотка).

Для удаления из молочного сырья газов, посторонних привкусов и запахов проводят термовакuumную обработку. Ее осуществляют в вакуум-камерах, так как при разрежении молочное сырье кипит

при температурах ниже 100 °C (70–80 °C). Эта операция необходима при производстве стерилизованных молочных продуктов, пастеризованных сливок и сливочного масла.

Растворенный или диспергированный воздух удаляют из молока методом термовакuumной деаэрации или дезодорации. Молочное сырье нагревается до температуры на 1–2 °C (иногда на 7–8 °C) выше температуры кипения в вакууме и поступает в вакуум-камеру, где температура мгновенно снижается и молоко закипает. Вместе с паром удаляется воздух и посторонние запахи. Пар проходит через конденсатор, конденсируется и возвращается в молоко, а воздух вместе с газами и запахами отводится из камеры вакуумным насосом.

В зависимости от конструкции вакуум-камеры обработка молочного сырья происходит различными способами. Это может быть способ разбрызгивания молока или сливок в вакуум-камере с помощью форсунки. Увеличение площади поверхности молока при разбрызгивании и вакуум для кипения молока при низких температурах способствуют лучшему отделению воздуха и газов. Деаэрация может осуществляться также в паровом пространстве колонки, представляющей собой емкость с размещенными внутри полками. Молочное сырье в паровом пространстве последовательно проходит каждую камеру с полками (от 2 до 8) и кипит в тонком слое. При этом из него удаляются воздух и газы.

Если на производстве нет вакуумных деаэраторов или дезодораторов, то для удаления посторонних привкусов и запахов из сливок применяют сепараторы. Сливки смешивают с обезжиренным молоком или водой и подвергают сепарированию. При этом посторонние привкусы и запахи переходят в обезжиренное молоко или воду.

4.7. Изменение состава и свойств молочного сырья при тепловой обработке

Как пастеризация, так и стерилизация молочного сырья наряду с инактивацией микроорганизмов приводят к разной степени интенсификации химических реакций, происходящих при нагревании с его компонентами. Определенные необратимые физико-химические изменения компонентов молока, вызванные нагреванием, обуславливают изменения его вкуса, цвета, запаха, пищевой и биологической ценности. Эти изменения являются нежелательными, поскольку влекут за собой как ухудшение технологических свойств молока, так и снижение его потребительских свойств. Способы и режимы пастеризации и стерилизации должны быть подобраны таким образом, чтобы обеспечить уничтожение микроорганизмов, инактивиро-

вать ферменты при минимальном изменении вкуса, цвета, пищевой и биологической ценности молочного сыря.

Известно, что с увеличением температуры требуется меньше времени для достижения одного и того же стерилизующего эффекта. При нагревании выше 100 °С с увеличением температуры на каждые 10 °С скорость разрушения термофильных спор *Bac. sthearothermophilus* от нагревания возрастает в 11 раз, а мезофильных *Bac. subtilis* – в 30 раз, в то время как интенсивность побурения молока, по которой косвенно судят об изменениях его компонентов, возрастает всего лишь в 2,5–3 раза. Это объясняется тем, что скорость разрушения микроорганизмов как более чувствительных к теплу выше скорости химических реакций.

В процессе нагревания тепловое движение частиц и колебания атомов в молекулах усиливаются. При определенной температуре поглощенная энергия достигает величины энергии активации для разрыва или образования связей. Вследствие этого при нагревании все составные части молока с незначительной энергией связи претерпевают изменения. Степень изменения составных частей молочного сыря при тепловой обработке зависит от температуры и времени выдержки. Наибольшие изменения происходят при определенной температуре нагревания и длительной выдержке молочного сыря – при 65 °С и выдержке 30 мин (пастеризация), при 115–120 °С и выдержке 15–20 мин (стерилизация в упаковке).

Самые сильные изменения во время пастеризации и стерилизации претерпевают сывoroточные белки, ферменты и отдельные витамины. Казеин и истинно растворимые компоненты молока изменяются незначительно (табл. 4.1).

Белки с высоким содержанием водородных и легко расщепляемых ковалентных связей особенно подвержены изменениям при нагревании. Наибольшим количеством таких связей обладают сывoroточные белки.

По степени реакции на нагревание наиболее термолabileльными являются иммуноглобулины, альбумин сывoroтки крови, β-лактоглобулин и α-лактальбумин.

В зависимости от условий нагревание ведет к частичной или полной денатурации сывoroточных белков, к реакциям между сывoroточными белками и фракциями казеина, а также между сывoroточными белками и другими компонентами молочного сыря.

При тепловой денатурации молекула белка из глобулы (нативное состояние) переходит в развернутое (денатурированное) состояние.

При разворачивании белковых глобул наблюдается повышение реактивности сульфгидрильных групп цистеина, фенольных – тирозина, гуанидиновых – аргинина, ϵ -аминогрупп лизина и др. Основную роль в агрегации денатурированных белковых молекул между собой и казеином играют гидрофобные взаимодействия и реакции окисления-восстановления сульфгидрильных (SH^-) групп в дисульфидные ($-\text{S}-\text{S}-$) связи.

4.1. Изменения, происходящие в молоке при тепловой обработке

Изменения		Последствия
первичные	вторичные	
Ослабление межмолекулярных сил взаимодействия	Ускорение теплового движения отдельных частиц	Уменьшение вязкости и поверхностного натяжения
Разрыв гидрофобных связей	Десорбция эвглобулина с поверхности жировых шариков	Снижение способности сливок к отстаиванию
Разрыв водородных и ковалентных связей с незначительной энергией	Денатурация сывороточных белков в форме структурных изменений и флоккуляций	Уменьшение окислительно-восстановительного потенциала, снижение способности к свертыванию
Изменение растворимости, главным образом, фосфатов и пиратов	Смещение равновесия распределения между истинно коллоидно-растворимыми фазами	Уменьшение активности сычужного фермента
Усиление диссоциации потенциальных электролитов и воды	Изменение диссоциационного равновесия	Снижение pH
Разрыв ковалентных связей концевых групп связей	Образование низкомолекулярных продуктов распада	Изменение вкуса
	Разрушение ферментов и чувствительных к нагреванию витаминов	Отсутствие ферментативных реакций, уменьшение содержания витаминов
Разрыв и образование новых ковалентных связей	Образование углеводно-белковых соединений вследствие реакции Майара	Изменение вкуса и цвета

При высвобождении сульфгидрильных групп снижается окислительно-восстановительный потенциал. SH -группы, обладая восстановительными свойствами, противодействуют окислению и связанному с ними появлению окисленного привкуса. Максимальная активизация сульфгидрильных групп достигается при температурах около 110°C .

Поэтому при производстве сливочного масла температуру пастеризации сливок желательнее устанавливать выше 105 °С, чтобы уменьшить опасность самоокисления жира в готовом масле при хранении.

Высвобождение сульфгидрильных групп при тепловой денатурации сывороточных белков, образование комплексов с ними, а также образование летучих сернистых соединений придает молоку привкус пастеризации, а при увеличении количества свободных сульфгидрильных групп с повышением интенсивности нагрева – привкус перепастеризации. При обычных режимах пастеризации молока, принятых в молочной промышленности, эти специфические запах и вкус выражены слабо, исчезают обычно через 2–3 дня и не считаются пороком. Пастеризованное при высоких температурах или стерилизованное молочное сырье обладает в той или иной степени (в зависимости от температуры и продолжительности ее воздействия) этими привкусами.

Денатурация и агрегирование сывороточных белков при пастеризации и УВТ-обработке приводят к усилению белизны и непрозрачности молока. Этому же способствует разрушение β-каротина и других пигментов. Доля денатурированных сывороточных белков зависит от температуры нагрева молочного сырья и продолжительности ее воздействия. Например, пастеризация при температуре 63 °С продолжительностью 30 мин вызывает денатурацию 7% сывороточных белков; в то же время пастеризация при температуре 72–74 °С с выдержкой 15–20 с приводит к денатурации 9% сывороточных белков. При нагреве молочного сырья до 85 °С денатурирует около 30% сывороточных белков. Нагревание молока до 95 °С с выдержкой при этой температуре от 5 мин и выше вызывает денатурацию почти 100% сывороточных белков. При стерилизации они денатурируют так же неравномерно: стерилизация в упаковке приводит почти к 100%-ной денатурации, а УВТ-обработка (135–145 °С с выдержкой 2–4 с) – к денатурации 40–80% (по другим данным – 60–70%) сывороточных белков. Причем косвенный нагрев при УВТ-обработке приводит к денатурации 82% β-лактоглобулина и 53% α-лактальбумина, а при прямом нагреве денатурация этих белков составляет 60 и 40%, соответственно. Отсюда можно сделать вывод, что на степень денатурации сывороточных белков больше влияет длительность выдержки, чем температура нагревания.

Денатурированные при нагревании сывороточные белки образуют агрегаты, которые имеют небольшой размер и достаточно сильно гидратированы. Вследствие этого они в основном остаются в

растворе, и лишь небольшая часть в виде хлопьев оседает на поверхности теплового оборудования.

Самым высоким содержанием сульфгидрильных групп характеризуется β -лактоглобулин. Денатурированный нагреванием β -лактоглобулин образует комплексы с κ -казеином, которые позволяют удерживать в растворе сам β -лактоглобулин и изменяют поверхностные свойства казеиновых мицелл, вследствие чего повышается стабильность казеина к нагреванию, но ухудшается способность к сужному свертыванию.

Казеин, по сравнению с сывороточными белками, более термоустойчив: он выдерживает без коагуляции нагревание до 140°C в течение 10–20 мин. Тепловая стабильность казеина зависит от величины pH, концентрации ионов кальция и степени денатурации сывороточных белков. Она уменьшается при снижении pH, увеличении концентрации ионов водорода и степени денатурации сывороточных белков. Можно предположить, что именно комплексообразование между казеином и сывороточными белками при нагревании оказывает стабилизирующее действие на казеин. Это используется при производстве сгущенного и стерилизованного молока путем подогревания сырья до $85\text{--}90^{\circ}\text{C}$ с длительной выдержкой при этой температуре перед стерилизацией или концентрированием (при производстве ультрапастеризованного молока на стерилизационной установке трубчатого типа «Tetra Therm Aseptic Flex» есть специальная секция для подогрева молока до 95°C с выдержкой 3 мин для стабилизации белков перед стерилизацией). Влияние на термоустойчивость казеина концентрации ионов кальция и pH компенсируют в производстве стерилизованных и сгущенных молочных продуктов путем добавления в молочное сырье солей-стабилизаторов, например, динатрийфосфата.

Несмотря на высокую термостабильность, казеин при нагревании претерпевает физико-химические изменения, влияющие на его технологические свойства и пищевую ценность. При нагревании молока происходит гидролиз пептидных связей казеина, дефосфорилирование, комплексообразование с сывороточными белками и лактозой и т. д.

Гидролиз пептидных связей κ -казеина при высоких температурах приводит к освобождению гликомакропептидов, стабилизирующих мицеллы казеина к воздействию теплоты, и снижению, соответственно, коллоидной стабильности казеина, в результате чего при гидролизе 20% κ -казеина может произойти тепловая коагуляция белков молока.

При тепловом дефосфорилировании казеина из β - и α_2 -казеинов удаляется часть органического фосфора, что может привести к уменьшению суммарного отрицательного заряда казеиновых мицелл и «лек-

тростатического напряжения в системе. Из-за этого снижается способность казеина связывать кальций, наступает дестабилизация и разрушение ККФК и, как следствие, снижение термоустойчивости. Комплексообразование казеина с денатурированными сывороточными белками начинается при нагревании молока до температур выше 80–95 °С. Сывороточные белки осаждаются на поверхности казеиновых мицелл, образуя своеобразную оболочку, которая способна повысить их термоустойчивость. Вместе с тем комплексообразование приводит к укрупнению казеиновых мицелл, что, в свою очередь, отрицательно влияет на термоустойчивость.

Комплексообразование казеиновых мицелл с денатурированными сывороточными белками обуславливает увеличение продолжительности свертывания белков молока под воздействием сычужного фермента после высокотемпературной тепловой обработки. Кроме того, увеличение продолжительности сычужного свертывания может быть связано со снижением при нагревании концентрации растворимого кальция, изменением pH, размеров казеиновых мицелл и другими факторами. В связи с этим сычужный сгусток либо не образуется, либо образуется слабый сгусток, плохо отделяющий сыворотку.

Характер белковых сгустков, полученных из молока, пастеризованного при различных температурах, неодинаков. Высокие температуры пастеризации приводят к укрупнению казеиновых мицелл, денатурации сывороточных белков и комплексообразованию их с казеином, что, в свою очередь, влечет за собой получение более жесткой структуры белкового сгустка и повышение интенсивности синерезиса. Сывороточные белки, обладающие высокими гидрофильными свойствами, повышают влагоудерживающую способность казеина.

Молочный сахар. Вследствие распада термолabileльных белков происходят количественные и качественные изменения; свободные аминокислоты активно взаимодействуют с другими компонентами молока, в частности, с лактозой. При этом происходит реакция Майяра, или реакция меланоидинообразования. В начальной стадии лактоза взаимодействует со свободными группами аминокислот (главным образом с ϵ -NH₂-группой лизина) образуя аminosахарный комплекс – лактозамин, который при дальнейшем нагревании переходит в лактулозамин. Затем после отщепления от него амина образуются различные альдегиды. Эти вещества, вступая в реакцию с аминокислотами, образуют соединения коричневого цвета – меланоидины.

В реакцию с лактозой вступает в основном незаменимая аминокислота лизин, и таким образом уменьшается количество доступного

пищеварительным ферментам лизина, а это снижает биологическую ценность стерилизованных молочных продуктов.

Вместе с тем при меланоидиновой реакции образуется лактулоза (лактолозолизин). Известно, что лактулоза является одним из сильнейших бифидогенных факторов (пробиотиком). Она используется бифидобактериями кишечника человека в качестве источника углерода и энергии. Лактулоза в результате метаболизма бифидобактерий кишечника превращается в короткоцепочные органические кислоты, которые, снижая pH кишечника, улучшают его функционирование. Кроме того, лактулоза имеет антиканцерогенный эффект, способствует снижению содержания токсичных метаболитов, вредных ферментов, подавлению жизнедеятельности вредной микрофлоры, абсорбции кальция. В результате этого повышается прочность костей, активизируется иммунитет, улучшается холестериновый обмен и многое другое.

Образование лактулозы зависит от температуры, продолжительности тепловой обработки и pH молока. Содержание лактулозы при различных способах стерилизации неодинаково: самое большое количество лактулозы образуется в молоке, стерилизованном в упаковке; меньше всего — в молоке прямой УВТ-обработки с учетом конденсированной влаги; при косвенной стерилизации лактулозы образуется больше в молоке, стерилизованном в пластинчатых теплообменниках; при использовании трубчатых теплообменников количество лактулозы снижается. Учитывая сказанное выше, лактулозу можно использовать в качестве индикатора тепловой обработки. Кроме того, определение лактулозы в стерилизованном молоке можно использовать как возможную характеристику его бифидогенной активности, которая важна для производства пробиотических кисломолочных продуктов (особенно это касается детских продуктов, для которых молоко перед сквашиванием стерилизуют).

Стерилизация молочного сырья вызывает не только образование меланоидинов, но и распад лактозы с образованием углекислого газа и кислот — муравьиной, молочной, уксусной и др. При этом кислотность молока увеличивается на 2–3 °С, что необходимо учитывать, определяя возможность его использования при производстве стерилизованного молока.

Липиды. Триглицериды молочного жира в процессе нагревания почти не изменяются, но при длительной выдержке часть их гидролизуются. При этом возрастает количество дилицеридов, а ненасыщенные жирные кислоты частично окисляются до альдегидов и кетон. При УВТ-обработке молочного сырья происходит образование лактонов и метилкетон.ов из соответствующих окси- и кетокислот.

Тепловая обработка по-разному влияет на содержание свободных жирных кислот. Свободные летучие жирные кислоты (муравьиная, уксусная, пропионовая, масляная, капроновая, каприловая и др.) образуются в результате тепловой обработки сливок и участвуют в образовании приятного вкуса и запаха сливочного масла, но содержание их при этом не должно превышать 30–40 мг/кг, в противном случае качество продукта будет ухудшаться (особенно при накоплении масляной кислоты), появятся привкусы, в том числе и липолизный. При обычной пастеризации молочного сырья их количество практически не изменяется; в некоторых случаях отмечается небольшое снижение в результате частичного улетучивания летучих жирных кислот.

Более заметным изменениям при тепловой обработке подвергаются оболочки жировых шариков. Даже при низких температурах пастеризации белки и фосфолипиды переходят с поверхности жировых шариков в плазму молока. Однако степень дестабилизации оболочек жировых шариков невелика, так как они восстанавливаются за счет адсорбции казеина и сывороточных белков.

При пастеризации молочного сырья из-за денатурации оболочечных белков оболочки жировых шариков частично разрушаются, появляется свободный жир, который подвергается липолизу и, как следствие, прогорканию при хранении молочных продуктов. Для повышения устойчивости жировой эмульсии при стерилизации проводят гомогенизацию молочного сырья.

Ферменты. Белковые компоненты ферментов молочного сырья близки по строению, структуре и свойствам к сывороточным белкам. Они так же, как и сывороточные белки, термолабильны и денатурируют при нагревании. В результате происходит инактивация ферментов. Вместе с тем некоторые ферменты отличаются высокой термостойкостью. Наиболее чувствительны к нагреванию альдолаза, нативная липаза, каталаза и щелочная фосфатаза. Например, щелочная фосфатаза инактивируется при длительной и кратковременной пастеризации полностью. Поэтому она выбрана в качестве индикатора для определения эффективности пастеризации. Достаточно устойчивы при нагревании кислая фосфатаза, бактериальная липаза, ксантиноксидаза, пероксидаза. Для их инактивации нужна температура выше 85 °С. Инактивация ферментов при пастеризации и стерилизации является положительным фактором, так как замедляются процессы порчи молочных продуктов при хранении. Однако возможна повторная активация ферментов после тепловой обработки. Так, после инактивации нагреванием восстанавливается активность пероксидазы, каталазы и щелочной фосфатазы. Существует мнение, что и при УВТ-обработке остается в неакти-

вированной или восстановленной форме часть ферментов. Например, образование геля при хранении и появление горького вкуса, происходящие иногда в УВТ-молоке, объясняют присутствием протеазы (до 25%), которая при pH 6,6 частично выдерживает УВТ-нагрев. Остаточная активность оксидаз (до 50%) и липаз (до 25%) в дальнейшем может вызвать появление окисленного липолизного и прогорклго вкусов и запахов в молочных продуктах.

Витамины являются одними из самых чувствительных к нагреванию компонентов молочного сырья. В процессе пастеризации витамины разрушаются меньше, чем в процессе стерилизации, но и в том, и в другом случае степень их разрушения зависит больше от продолжительности нагревания, чем от температуры, а также от способа тепловой обработки.

Водорастворимые витамины более подвержены разрушению при нагревании, чем жирорастворимые. При пастеризации витамины С и В₁ разрушаются в среднем от 10 до 30%, витамины А и В₁₂ от 10 до 20%, наименьшему разрушению подвергаются витамины В₂ и В₆ — от 0 до 10%. Витамины D, E, биотин, пантотеновая кислота и никотиновая кислота при режимах пастеризации молока не разрушаются.

Стерилизация приводит к более заметному разрушению витаминов. УВТ-обработка ведет к потере на 10–35% почти всех витаминов. Длительная стерилизация разрушает почти на 100% витамины С и В₁₂, на 25–59% — витамины А, В₁, В₆ и на 10% — витамин В₂. Потери витаминов С и В₁₂ можно уменьшить путем проведения деаэрации молочного сырья перед стерилизацией, так как установлена связь между количественным изменением аскорбиновой кислоты, происходящим в результате наличия растворенного кислорода в молоке, и потерей витамина В₁₂.

Пантотеновая и никотиновая кислоты не разрушаются при УВТ-обработке молока. Потери тиамина при тех же режимах составляют до 15%, а при длительной стерилизации — до 25%.

Минеральные вещества. При нагревании молочного сырья нарушается соотношение между растворимым и коллоидным фосфатом кальция. Растворимый кальций переходит в коллоидное состояние, причем повышается кислотность молока:

Однако заметное снижение pH наступает лишь при очень высоких температурах.

Часть коллоидного кальция откладывается на поверхности теплового оборудования вместе с денатурированными сывороточными белками, образуя жесткий осадок, называемый «молочным камнем», трудно поддающийся растворению при мойке.

Другая часть коллоидного кальция осаждается наряду с денатурированными сывороточными белками на казеиновых мицеллах, блокируя активные центры, находящиеся на их поверхности, и снижая тем самым способность казеина к сычужному свертыванию. Для восстановления способности пастеризованного молока к сычужному свертыванию в него перед внесением сычужного фермента при производстве сыров добавляют растворимые соли кальция в виде CaCl_2 .

Контрольные вопросы и задания

1. Для чего предназначена тепловая обработка молока и молочных продуктов?
2. С какой целью и какими способами охлаждают молоко и молочные продукты? Как изменяются при этом микрофлора и составные части молока?
3. С какой целью и какими способами замораживают молоко и молочные продукты? Как изменяются при этом микрофлора и составные части молока?
4. Каковы цели пастеризации молока и молочных продуктов?
5. Назовите режимы пастеризации молочного сырья при производстве различных молочных продуктов.
6. Какие факторы влияют на эффективность стерилизации молока и молочных продуктов?
7. Как сохранить и повысить термоустойчивость молока?
8. Назовите режимы стерилизации молочного сырья.
9. Какое оборудование применяют для стерилизации молочного сырья? Опишите принципы нагрева и охлаждения молочного сырья на конкретном оборудовании.
10. Как контролируют эффективность стерилизации по микробиологическим показателям?
11. В чем заключается сущность термовакuumной обработки молока и молочных продуктов?
12. Какие изменения происходят в молочном сырье в результате нагревания?

Глава 5. САНИТАРНАЯ ОБРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТАРЫ

5.1. Назначение мойки и дезинфекции технологического оборудования и тары

Качество молока и молочных продуктов, а также их бактериологическая безопасность в значительной степени зависят от санитарного состояния технологического оборудования, инвентаря и тары. Для того, чтобы не происходило повторного бактериального обсеменения и загрязнения пастеризованных и стерилизованных молочных продуктов, технологическое оборудование необходимо тщательно мыть и дезинфицировать.

На поверхности оборудования образуются загрязнения в виде остатков сырья, молочных продуктов и осадка (пригара), состоящие из белков, жиров, фосфатидов, комплексов денатурированных сывороточных белков с минеральными составляющими (молочного камня) и др.

В каждом теле или веществе действуют силы межмолекулярного притяжения. Если эти силы взаимно уравновешены, то в поверхностном слое часть межмолекулярных сил остается неиспользованной (свободной), поэтому такое тело или вещество обладает поверхностной энергией. В результате этого отдельные частицы загрязнений слипаются и прочно удерживаются на поверхности оборудования. Более прочно удерживаются загрязнения сухие или пригоревшие, так как силы межмолекулярного взаимодействия проявляются лишь при очень плотном соприкосновении частиц между собой или с поверхностью оборудования. Если расстояние между ними умень-

шить за счет проникновения воды, начнется дробление частиц и удаление их с поверхности.

Загрязнения, остающиеся на поверхности оборудования, можно разделить на три группы:

- загрязнения, образовавшиеся в результате соприкосновения холодного молока с поверхностью оборудования. Такие загрязнения откладываются на поверхности охладителей, насосов, трубопроводов, резервуаров, автомолцистерн в виде молочной пленки, содержащей жир и белок;
- загрязнения, остающиеся после подогрева молока до 80 °С. Эти загрязнения образуются на поверхностях выдерживателей, пастеризаторов, стерилизаторов, трубопроводов и насосов и представляют собой мягкий осадок, состоящий из фосфатов кальция и денатурированного сывороточного белка;
- загрязнения, остающиеся после тепловой обработки молока при температурах выше 80 °С. Такие загрязнения образуются на поверхностях теплообменных и вакуум-выпарных аппаратов и обладают повышенной жесткостью, причем с увеличением температуры тепловой обработки жесткость осадка увеличивается, так как увеличивается доля его минеральной составляющей.

Степень и характер загрязнений оборудования органическими и неорганическими веществами во многом зависят от температуры и продолжительности обработки молочного сырья и молочных продуктов. Чем выше температура обработки и дольше выдержка при этой температуре, тем более жесткий осадок в виде комплекса денатурированных сывороточных белков и минеральных солей откладывается на поверхности оборудования.

Характер осадка зависит также от кислотности молочного сырья и температуры тепловой обработки. При повышении кислотности молока с 17 до 22 °Т количество осадка на тепловом оборудовании увеличивается в 7,5 раз. Поэтому кислотность молока, предназначенного для стерилизации, устанавливается в пределах 16–18 °Т.

При тепловой обработке (особенно при стерилизации) молока нельзя допускать большой разницы между температурами молока и греющего агента. Это значит, что необходим предварительный, постепенный нагрев молока до высоких температур. В современных пастеризационных и стерилизационных установках предусматриваются секции рекуперации для подогрева и выдержки молочного сырья перед пастеризацией и стерилизацией. В вакуум-выпарных установках также предусмотрен предварительный подогрев молока.

Образование жесткого осадка на поверхности теплообменных аппаратов можно свести до минимума при определенной скорости движения в них продукта, так как при малых скоростях возможно образование большего количества осадка. Кроме того, для уменьшения количества образующегося осадка нужно снижать в обрабатываемом продукте содержание воздуха, например, деаэрацией.

Для удаления различного вида органических и неорганических загрязнений с поверхности оборудования его моют с помощью моющих средств. В зависимости от вида загрязнения применяют разные способы мойки и виды моющих средств.

Основные представители микрофлоры, обнаруживающиеся на поверхности оборудования, – это бактерии группы кишечной палочки, стафилококки, стрептококки, термоустойчивые молочнокислые палочки, плесени, дрожжи, бактериофаги.

Микроорганизмы хорошо развиваются в молочной среде, поэтому оборудование по окончании технологического процесса необходимо тщательно вымыть, а затем продезинфицировать для инактивации бактерий. Моющие растворы растворяют и удаляют с поверхности оборудования лишь органические и неорганические вещества. Инактивировать микроорганизмы можно либо химическим путем (дезинфицирующие растворы химических веществ), либо физическими средствами (обработка горячей водой, кипящей водой, паром, ультрафиолетовыми лучами и т. д.).

Обязательным условием эффективности дезинфекции должно быть полное удаление органических и неорганических загрязнений и остатков моющих средств с поверхности обрабатываемого оборудования после мойки. Основной целью дезинфекции (стерилизации) оборудования и тары является исключение микробиального инфицирования молочного сырья как до, так и после тепловой обработки. Применяя одно и то же моющее средство для мойки разных поверхностей, можно получить различные результаты. Так, полированная или гладкая поверхность (алюминий, нержавеющая сталь, стекло) лучше моется и дезинфицируется, так как сила сцепления загрязнений с ней меньше, чем сила сцепления с пористой (резина) или шероховатой (дерево) поверхностью.

Итак, эффективность санитарной обработки оборудования и тары зависит от степени их загрязненности, свойств моющих и дезинфицирующих средств, концентрации и температуры применяемых растворов, режима ополаскивания, жесткости, а также от материала, из которого изготовлено оборудование.

5.2. Характеристика и свойства моющих средств

Моющие средства представляют собой отдельные химические вещества или сложные смеси химических веществ, усиливающие действие друг друга, с поверхностно-активными веществами и веществами, вызывающими пеногашение. Целесообразно применять сложные смеси, потому что они имеют более широкий спектр действия и обладают лучшим моющим эффектом. Требования, которые предъявляют к моющим средствам при подборе, заключаются в следующем. Они не должны оказывать вредного воздействия на организм человека, влиять на качество молока и молочных продуктов, иметь высокую коррозионную активность и должны обеспечивать абсолютную чистоту оборудования. Загрязнения, остающиеся на оборудовании после окончания технологического процесса, представляют собой сложные белково-жиро-минеральные соединения. Поэтому в качестве моющих средств, растворяющих все составляющие загрязнений, применяют щелочные и кислотные вещества. Белки и жиры гидролизуются и смываются щелочами, а минеральные вещества растворяются и удаляются с поверхности оборудования кислотами.

К щелочным моющим средствам, используемым как самостоятельно, так и в смеси с другими химическими веществами, относят в основном гидроксид натрия (каустическую соду) и его соли: карбонат натрия (кальцинированная сода); силикат и тетрасиликат натрия (жидкое стекло), которые являются компонентами многих моющих средств; фосфаты натрия, в том числе гексаметофосфат и триполифосфат натрия, которые обладают некоторыми поверхностно-активными свойствами и способностью умягчать воду, и тоже входят в состав многих синтетических моющих средств и пр.

Как отдельные моющие средства, а также в смеси с другими синтетическими моющими средствами для усиления моющего эффекта при мойке оборудования используют кальцинированную и каустическую соду, концентрации которых в водном растворе рекомендуются от 2 до 4%. Это говорит о том, что ни каустическая, ни кальцинированная сода не отличаются высоким моющим эффектом в малой концентрации. Кроме того, они обладают поверхностно-активными свойствами, смачивающей и эмульгирующей способностями. Каустическую и кальцинированную соду применяют, например, в смеси с триполифосфатом натрия, смачивателем РОМ-АЦ-1 или «Вимол», РОМ-БЛОК. В настоящее время для щелочной мойки технологического оборудования существуют, помимо названных выше, разнообразные синтетические моющие средства, например МСТА, МС-37, «Витязь АЛМ»,

«Катрит», «Стекломой», «ЕС-Промоль Супер», «ПЗ-МИП Центра». Рекомендуемая концентрация их в водных растворах – 0,5–1,0%, но может быть повышена в зависимости от вида загрязнения и типа оборудования до 1,5–2,5%. Импортные моющие добавки, например «Divo-109», используют при щелочной СІР-мойке технологического оборудования. В состав этой добавки входят: ЭДТА, натриевая соль > 30%; соли органических кислот – от 5 до 15%; неионный тензид – от 1 до 5%; бутилгликоль – от 1 до 5%; фосфат натрия – от 1 до 5%. Добавка обладает хорошими очищающими свойствами и предотвращает осаждение растворенных твердых частиц на очищенные поверхности.

При образовании твердого осадка (пригара, «молочного камня») на поверхности оборудования, особенно теплового, а также при использовании воды жесткостью от 6 мг экв/л наряду со щелочными моющими средствами используют кислотные моющие средства. К ним относятся в основном азотная кислота, амидосульфоновая кислота (сульфаминовая), РОМ-ФОС, КСЦ-1. Рекомендуется использовать эти моющие средства в концентрации 0,4–0,6%. При особо жестких осадках концентрацию средств необходимо повышать до 0,7–1,5%. Используются также импортные концентрированные добавки для кислотных моющих средств. Например, добавка «Doscap» – жидкий концентрат, содержащий биологически активные вещества. Он обладает хорошими смачивающим, комплексирующим и диспергирующим действиями. Предлагается использовать добавку в смеси с 50–53%-ной азотной кислотой в системе СІР-мойки технологического оборудования. Кроме моющего, добавка оказывает и дезинфицирующее воздействие, так как содержит до 5% фосфонатов (кислот) и ингибиторов. Ее использование позволяет уменьшить расход азотной кислоты на 10–40% в зависимости от степени загрязнения оборудования.

Моющие средства применяют в виде растворов, которые должны обладать следующими свойствами: низким поверхностным натяжением; хорошей смачивающей, пенообразующей и эмульгирующей способностями; стабилизирующим действием; солюбилизацией; вызывать пептизацию и набухание белков; эффективным моющим действием и хорошо смываться с поверхности оборудования водой.

Моющий раствор, соприкасаясь с загрязненной поверхностью, должен прежде всего смочить ее. Растекание капли жидкости на поверхности твердого тела связано с поверхностным натяжением на границе раздела фаз.

Если силы притяжения между молекулами твердого тела и жидкости больше сил притяжения между молекулами жидкости, то жидкость расплывается на поверхности, т. е. смачивает ее.

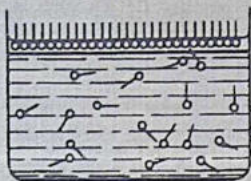


Рис. 5.1. Ориентированная адсорбция молекул ПАВ на поверхности раздела жидкость-воздух

Хорошая смачиваемость твердой поверхности моющими растворами зависит от свойств и температуры растворов, а также от материала смачиваемой поверхности. Для повышения смачивающей способности моющих растворов и снижения их поверхностного натяжения применяют также поверхностно-активные вещества. Поверхностно-активные вещества при растворении в воде вследствие полярности молекул адсорбируются ориентировано на поверхности раздела жидкость-воздух (рис. 5.1).

Вследствие этого поверхностное натяжение снижается, так как поверхность раздела жидкость-воздух заменяется поверхностью раздела углеводород-воздух, а поверхностное натяжение углеводородов значительно ниже, чем поверхностное натяжение воды.

Смачивание поверхности оборудования моющими растворами в значительной степени затрудняется из-за наличия на нем жировых отложений. Жир обладает лучшей смачивающей способностью, чем моющие растворы, поэтому его удаляют путем эмульгирования.

Для эмульгирования загрязнений необходимо, чтобы моющий раствор хорошо смачивал поверхность и разрушал жировую пленку. При эмульгировании жира в процессе мойки действуют капиллярно-активные вещества (эмульгаторы) моющего раствора. В качестве эмульгаторов используют поверхностно-активные вещества, которые уменьшают межфазное натяжение между жиром и водой в результате положительной адсорбции. Равномерно проникая между поверхностью аппаратов и загрязнением, они снижают поверхностное натяжение на границе двух фаз: молочный жир-раствор. Эмульгирующие вещества накапливаются на границе между фазами, образуя прочные оболочки, которые в результате действия адсорбционных сил обволакивают мельчайшие частицы жира, препятствуя их объединению. При хороших эмульгирующих свойствах моющего раствора все жировые шарики находятся в нем во взвешенном (диспергированном) состоянии.

Высокая дисперсность эмульсии жира при мойке может поддерживаться также механическим воздействием на загрязнения при циркуляционной мойке в результате турбулентного режима движения жидкости или обработки щетками при ручном способе мойки.

Стабилизаторами эмульсий типа «масло в воде» являются гидрофильные коллоиды, а эмульсий типа «вода в масле» – олеофильные коллоиды. Стабилизаторами могут также быть адсорбированные на поверхности раздела фаз тонко диспергированные твердые вещества. Повысить эмульгирующую способность моющих растворов могут также некоторые электролиты, входящие в их состав. Ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , содержащиеся в жесткой воде и на поверхности оборудования, хорошо связываются силикатами и фосфатами.

В процессах мойки оборудования, особенно теплообменных установок (пастеризационных, стерилизационных, вакуум-выпарных и т. д.), имеющих на своей поверхности белковые загрязнения, большую роль играют моющие средства, вызывающие набухание и пептизацию белков.

Белковые вещества обладают способностью хорошо связывать влагу, в результате чего происходит набухание или увеличение массы и объема белка. Белок поглощает не любую жидкость, а только ту, которая хорошо его смачивает. Следовательно, для мойки нужно подбирать такие моющие средства, растворы которых хорошо смачивают белковые загрязнения.

Под действием моющего средства белок вначале превращается в гель, а при дальнейшем набухании – в золь, т. е. происходит разжижение. Набухание со временем приводит к пептизации (частичному расщеплению) белковых загрязнений. При этом на поверхности частиц загрязнений образуются адсорбционно-солеватные оболочки, препятствующие сближению частиц и поддерживающие их в дисперсном (раздробленном) состоянии. Скорость набухания и пептизации белков зависит от свойств белковых загрязнений, величины их частиц, концентрации и состава моющих растворов.

Чем меньше величина белковых частиц загрязнений и чем меньше они агрегированы, тем быстрее они набухают и пептизируются в моющем растворе. Большие скопления белковых загрязнений легче пептизируются с увеличением турбулентности потока моющего раствора при циркуляционной мойке, а также при ручной мойке с помощью щеток. Увеличение количества моющего раствора или его концентрации также положительно влияет на процесс набухания и пептизации белковых загрязнений. Однако после достижения определенных концентраций или количества моющего средства его пептизирующие свойства не возрастают, но может усиливаться коррозионное воздействие моющего средства на материал оборудования. Кроме того, снижается экономичность мойки из-за неоправданного перерасхода моющих средств. Поэтому в процессе мойки необходимо подбирать

оптимальные концентрацию и количество моющих средств в зависимости от силы их воздействия на белковые загрязнения.

Лучшими пептизирующими свойствами обладают растворы кислот и щелочей, но и они воздействуют не одинаково эффективно. Например, белки набухают лучше в растворе азотной, чем соляной и особенно серной кислот. По аналогии белки набухают лучше в растворах гидроксида натрия, чем калия. Для удаления молочного камня или твердого осадка с теплообменных аппаратов для мойки необходимо использовать растворы едкого натра и одноосновных кислот определенной концентрации. Моющие растворы, применяемые при циркуляционной мойке, могут иметь более высокую концентрацию, чем при ручной мойке, – для обеспечения более высокой скорости набухания и пептизации белков в первом случае и более безопасной мойки – во втором.

Одним из свойств моющих растворов является образование пены. Она представляет собой дисперсную систему, где пузырьки воздуха разделены тонкой пленкой жидкости.

При соприкосновении воздуха с раствором на поверхности пузырьков воздуха образуется адсорбционный слой, гидрофобная часть которого направлена в воздух, а гидрофильная часть – в воду (рис. 5.2). Пузырьки воздуха, поднимаясь из раствора и проходя через его поверхность, насыщенную поверхностно-активными веществами, окружаются вторым слоем. Образование пены, связанное с большим увеличением поверхности, возможно только при низком поверхностном натяжении. Устойчивость пены может быть различной: от нескольких секунд до нескольких дней. Чем меньше размеры пузырьков воздуха, тем дольше они сохраняются. Пенообразующая способность и устойчивость пены моющих растворов зависят от их молекулярной массы и структуры, а также от концентрации, температуры, pH растворов и содержания кальциевых и магниевых солей.

Зависимости между пенообразующей и моющей способностями моющих средств не существует, однако пеной дополнительно задерживается какое-то количество загрязнений, удаленных с поверхности оборудования.

При циркуляционной мойке использование моющих средств с высокой пенообразующей способностью невозможно, так как пена, образующаяся в большом количестве, засасывается вакуум-системой и насосами для молока. В этом случае применяют моющие средства с добавлением веществ, снижающих пенообразующую способность моющего раствора.

При автоматизированной циркуляционной мойке необходимо предварительно проверять пенообразующую способность моющих

средств. Ее характеризуют объемом или высотой столба пены, образующегося при определенных условиях, а также устойчивостью. Последняя представляет собой отношение объема или высоты столба пены через определенный промежуток времени после его образования к первоначальному объему или высоте столба пены.

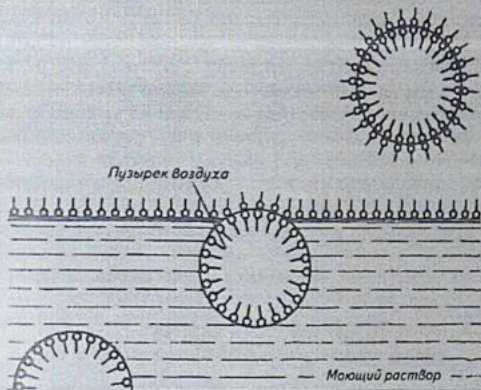


Рис. 5.2. Образование двойного слоя молекул и моющих веществ на поверхности раздела

В процессе мойки машин, аппаратов и трубопроводов происходят два противоположных явления: отделение загрязнений от очищаемой поверхности и повторное их осаждение на ней. Необходимо, чтобы моющие средства не только хорошо удаляли загрязнения с поверхности оборудования, но и удерживали их в растворенном или во взвешенном состоянии, препятствуя их повторному осаждению.

Количество повторно осаждающихся на поверхности оборудования загрязнений зависит от поверхностно-активных веществ и электролитов, входящих в состав моющих средств, а также от жесткости воды, в которой растворяют моющие средства. Фактор повторного осаждения загрязнений на поверхности оборудования особенно актуален при циркуляционной мойке, когда раствор моющего средства применяется неоднократно. В этих случаях необходимо использовать моющие средства, в состав которых входят стабилизирующие вещества. Для предупреждения повторного осаждения за-

грязнейший в состав моющих средств должны входить адсорбционные вещества, создающие физический барьер для повторного осаждения загрязнений. Для усиления стабилизирующих свойств моющих средств в их состав должны входить специальные защитные коллоиды, например карбоксилметилцеллюлоза, и неионогенные вещества. Гидрофильная поверхность, образовавшаяся за счет адсорбции неионогенного вещества, представляет собой такой барьер.

После мойки и ополаскивания оборудования на его поверхности иногда остается тонкая пленка моющего средства. В ней могут находиться эмульгированные частицы, содержащие остатки загрязнений и микроорганизмы. Поэтому большое значение придается смываемости моющих растворов с поверхности оборудования после санитарной обработки. Они должны обладать не только хорошим моющим эффектом, но и полностью удаляться при ополаскивании оборудования водой после проведения санитарной обработки. Для этого в их состав вводят специальные вещества, например, фосфаты натрия, которые умягчают воду и повышают способность моющих средств удаляться с оборудования при ополаскивании водой.

5.3. Последовательность мойки технологического оборудования и тары

Оборудование необходимо мыть в конце каждого технологического процесса, а резервуары – после каждого опорожнения. Последовательность мойки для различных видов оборудования одинакова и состоит из следующих операций.

Предварительно перед мойкой резервуары ополаскивают водой из шланга, а при необходимости моют моющим раствором с помощью щеток снаружи. Затем теплой или холодной водопроводной водой смывают остатки молока и молочных продуктов. Продолжительность ополаскивания водой в зависимости от вида молочных остатков на поверхности оборудования составляет при циркуляционной мойке 5–7 мин.

После ополаскивания технологическое оборудование моют щелочными моющими растворами при температуре 55–80 °С. Продолжительность щелочной мойки в зависимости от вида оборудования различна: при мойке оборудования, не осуществляющего нагрев, перекачивание, хранение горячего молока (молокопроводы, насосы, сепараторы, резервуары и пр.), рециркуляция щелочного раствора производится в течение 10–15 мин; при мойке оборудования, предназначенного для тепловой обработки молока и работающего по од-

ной с ним схеме (пастеризационные, стерилизационные и вакуум-выпарные установки), рециркуляция щелочного раствора продолжается до 60 мин, причем температура раствора при мойке стерилизационных установок достигает 115–137 °С. По окончании циркуляции щелочного моющего раствора оборудование ополаскивают теплой или горячей водой для смывания остатков щелочных моющих средств. Эффективность ополаскивания проверяют с помощью фенолфталеина или индикаторной бумаги. Ополаскивание продолжается в течение 5–15 мин. На этом мойка оборудования, не осуществляющего тепловую обработку молока, заканчивается.

В профилактических целях и при использовании неумягченной воды рекомендуется проводить 1–2 раза в месяц кислотную мойку трубопроводов из нержавеющей стали, продолжительность которой составляет 45 мин, а последующее ополаскивание от остатков кислотного моющего средства – 20 мин.

Мойка теплового технологического оборудования при сохранении общей последовательности более продолжительна вследствие наличия пригара или молочного камня, образующихся на поверхности из-за применения высоких или ультравысоких температур при пастеризации или стерилизации молока и молочных продуктов. Дополнительно к щелочной мойке добавляется мойка кислотными растворами, которая проводится каждый раз непосредственно после ополаскивания от остатков щелочных моющих средств. Концентрация кислотных растворов при мойке теплового оборудования составляет 0,5–0,8%, температура раствора – 70–85 °С, продолжительность кислотной мойки – 25–30 мин.

Вакуум-выпарные установки и оборудование, работающее с ними по одной схеме, моются механизированным способом после окончания варки, но не реже чем через 12–15 варок при применении циркуляционных аппаратов и не реже чем через 20 часов при применении пленочных аппаратов. Мойка производится и щелочными, и кислотными растворами в последовательности, показанной выше для теплового оборудования с соответствующими ополаскиваниями после каждого вида моек.

Ультрафильтрационные установки также моют щелочными и кислотными моющими растворами в той же последовательности. Концентрация щелочных моющих средств при температуре 65–85 °С составляет 1,0–1,5%, кислотных – 0,5–0,9%.

Достаточно длительной мойке подвергают сушильные аппараты. Обычно проводят щелочную мойку с той же последовательностью, что указана выше, причем рециркуляция щелочного раствора при 75–80 °С

длится от 60 до 90 мин, а ополаскивание водой проводят до и после щелочной мойки при температуре 30 °С в течение 10–15 минут. Один раз в месяц рекомендуется дополнительно после щелочной мойки и ополаскивания водой от остатков щелочных средств проводить кислотную мойку сушильных аппаратов. Рециркуляция кислотного раствора происходит при температуре 60–65 °С в течение 30–40 минут.

При ручной мойке технологического оборудования последовательность операций та же, что и при механизированной, ассортимент используемых моющих средств более ограничен, а концентрация и температура растворов ниже в целях безопасности обслуживающего персонала.

Наиболее уязвимые узлы при мойке различного оборудования следующие:

- производство питьевого молока и сливок – краны, клапаны на линии от резервуаров для пастеризованных продуктов до фасования, узлы и детали фасовочных автоматов;
- производство кисломолочных продуктов – краны и клапаны у заквасочников и на линии подачи закваски, трубы у гомогенизатора, краны резервуаров для сквашивания, узлы и детали фасовочных автоматов;
- производство творога и сметаны – заглушки, клапаны и краны на линии подачи молока, резервуары для сквашивания и охладители, тележки для творога, гильзы дозаторов, детали фасовочных автоматов;
- производство сгущенных молочных продуктов – насосы и трубки вакуум-выпарных установок, трубы на входе и выходе гомогенизатора, узлы и детали фасовочных автоматов;
- производство сухих молочных продуктов – крышки и стенки паро-контактных пастеризаторов, насосы и трубки вакуум-выпарных установок, участки труб на входе и выходе гомогенизатора, клапаны у баков-смесителей и буферных бачков перед сушкой;
- производство сливочного масла – краны и мешалки резервуаров для хранения пастеризованных сливок, мелкие детали на линии подачи сливок в маслоизготовитель, узлы и детали фасовочного автомата;
- производство сыров – краны и клапаны на линии подачи пастеризованного молока и у сыродельных ванн, узлы и детали фасовочного автомата при производстве плавленых сыров.

Мойку резервуаров, насосов и трубопроводов для молочного сырья необходимо проводить ежедневно по мере их опорожнения в следующей последовательности: ополаскивание водой температурой

45–50 °С в течение 5–7 минут; промывание щелочным раствором температурой 65–75 °С в течение 10–12 минут; ополаскивание от остатков щелочного раствора температурой 65–75 °С в течение 5–7 минут и обработка горячей водой температурой 90–95 °С в течение 15 минут для дезинфекции. По мере образования минеральных отложений из-за жесткости воды необходима не реже 1 раза в 15–20 дней мойка кислотным раствором температурой 55–60 °С в течение 8–10 минут. Мойку проводят после ополаскивания оборудования от остатков щелочного раствора, и затем ополаскивают водой температурой 55–60 °С в течение 5 минут до создания нейтральной среды.

При мойке стеклянной и полимерной тары используют также щелочные и кислотные моющие средства, причем в последние может быть добавлена ДХЦН (натриевая соль дихлоризоциануровой кислоты) в качестве дезинфицирующего средства. Концентрация кислотных средств составляет 0,3–0,5% (ДХЦН – до 0,01%), щелочных – в зависимости от их вида – от 0,3 до 1,5%. Температура растворов – от 40 до 60 °С. Мойку стеклянной тары выполняют механизированным способом согласно инструкциям по эксплуатации для каждого типа машины; стеклянную тару с остатками белка и механических загрязнений предварительно замачивают в щелочном растворе и затем промывают вручную. Для механизированной мойки стеклотары рекомендуются следующие моющие средства: «Стекломой», «Катрил-Д», «ЕС-Промоль Супер», ПЗ-МИПСИП, «ПЗ-МИП Центра», каустическая сода (едкие натр или калий). Для ручной мойки рекомендуются: «Катрил», «Вимол», РОМ-АЦ-1, «Витязь АЛМ», МД-1, МСТА, ИМ-37, кальцинированная сода.

5.4. Факторы, влияющие на эффективность мойки технологического оборудования и тары

На предприятиях молочной промышленности мойка оборудования осуществляется ручным и механизированным способами. При ручной мойке в качестве вспомогательных средств применяют щетки-скребки и водопроводные резиновые шланги. Способ трудоемок, эффективность его зависит от человека, производящего мойку, и от доступности для мойки очищаемых поверхностей. Но в отдельных случаях именно этот способ позволяет наиболее тщательно очистить загрязненную поверхность (при образовании пригара белков во время тепловой обработки молока на стенках теплового оборудования).

Для снижения трудоемкости процесса мойки и повышения ее качества предпочтительнее механизированный процесс, в котором моющие и дезинфицирующие растворы, а также промывная вода циркулируют в замкнутом цикле (циркуляционная мойка или безразборная мойка СР).

При централизованной механизированной санитарной обработке все моющие и дезинфицирующие растворы, а также вода для промывания готовятся в одном месте и подаются через систему трубопроводов по всему заводу. Использованные растворы и промывные воды поступают также в центральное моечное отделение в определенные емкости. Этот тип мойки рекомендуется использовать на небольших предприятиях с короткими трубопроводами. Использование централизованной мойки на крупных предприятиях из-за больших площадей и, соответственно, большой протяженности трубопроводов приводит к значительным остаткам жидкости в трубах после промывания. Это может привести при последующей мойке к разбавлению моющих растворов и снижению эффективности процесса.

На крупных предприятиях предпочтительнее децентрализованная мойка, когда основные технологические линии снабжаются индивидуальными модулями безразборной мойки с определенной программой. При этом виде мойки растворы щелочей и кислот подаются из централизованной мойки, а нагрев и подача воды для ополаскивания обеспечиваются локальными периферийными станциями. Моющие средства поступают в заданном объеме, что позволяет экономить средства, а также воду и пар.

Скорость движения моющих растворов в системе обеспечивается центробежными насосами. Для качественной мойки скорость течения растворов в плоскостях оборудования должна быть в пределах 1,5–3,0 м/с. При этих скоростях поток жидкости сильно турбулентен, в результате чего создается эффективное очищающее воздействие на поверхность оборудования. Течение растворов с более низкой скоростью ведет к образованию газовых пробок, в результате чего качество мойки снижается. При более высокой скорости повышается расход мощностей на перекачивание растворов и возникают гидравлические удары.

При мойке резервуаров моющий раствор распыляют на верхнюю часть их внутренней поверхности, после чего он произвольно стекает вниз по стенкам. В этом случае эффективность мойки повышается за счет использования специально предназначенных распылительных устройств, снабженных двумя вращающимися соплами в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

На эффективность мойки оборудования значительно влияют температура и концентрация моющего раствора. Их подбирают в за-

висимости от вида применяемого моющего средства, степени и вида загрязнения, материала оборудования и пр.

Качество и скорость мойки повышаются с увеличением температуры моющего раствора. Это объясняется тем, что с повышением температуры возрастает физико-химическая активность раствора, улучшается массообмен между загрязнением и моющим раствором, снижается поверхностное натяжение на границе раздела моющий раствор-загрязнение, уменьшается кинематическая вязкость и усиливается турбулентность моющего раствора. Однако если применяется эффективное моющее средство, то увеличение турбулентности и температуры раствора играют незначительную роль.

Температура моющего раствора зависит также от способа мойки. При ручной мойке температура моющих растворов ниже, чем при циркуляционной. Это объясняется тем, что по мере циркуляции моющего раствора в полостях оборудования температура раствора снижается. Кроме того, при ручной мойке с пониженной температурой обеспечивается безопасность обслуживающего персонала. Поэтому при ручной мойке температура моющих растворов находится в пределах 40–45 °С, а при циркуляционной мойке – 60–80 °С. При мойке стерилизационных установок температура щелочных растворов должна быть на уровне 115–137 °С.

Концентрация моющего раствора находится в обратно пропорциональной зависимости от температуры, т. е. с повышением температуры снижается концентрация моющего раствора, и наоборот. Концентрацию моющего раствора подбирают опытным путем таким образом, чтобы мойка была эффективной, но не подвергалось коррозии технологическое оборудование. От концентрации моющего раствора зависит продолжительность мойки, которая уменьшается при повышении концентрации моющего раствора.

Концентрация моющих растворов зависит от степени и вида загрязнения технологического оборудования. Вследствие этого концентрация щелочных растворов находится в пределах 0,5–2,5%, а кислотных – 0,5–1,5%.

После каждого цикла мойки различными моющими растворами и после дезинфекции химическими веществами оборудование необходимо ополаскивать водой для того, чтобы остатки этих веществ не попали в молоко и молочные продукты. Вода, применяемая для ополаскивания, должна быть чистой, доброкачественной в бактериальном отношении и соответствовать требованиям СанПиН 2.1.4.559-96 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Температура воды для ополаскивания также зависит от ряда причин. Горячая вода несколько

быстрее смывает остатки химических веществ, чем холодная. Кроме того, после ополаскивания горячей водой стенки оборудования быстро высыхают и развитие микрофлоры замедляется. Ополаскивание оборудования по окончании технологического цикла осуществляется в основном холодной водой (смывание остатков молока и молочных продуктов), а ополаскивание после различных видов мойки – горячей водой температурой 40–70 °С или теплой водой температурой 25–40 °С.

Обязательно нужно контролировать полноту ополаскивания поверхностей оборудования от остатков моющих и дезинфицирующих растворов во избежание их попадания в пищевые продукты. Наличие и отсутствие остатков щелочных или кислотных моющих средств проверяют с помощью индикаторной лакмусовой бумаги. Сразу же после мойки ручным способом к влажной поверхности участка оборудования прикладывают полоску индикаторной лакмусовой бумаги, либо полоску универсальной индикаторной бумаги; при механизированном способе – погружают лакмусовую или универсальную индикаторную бумагу в промывную воду.

При наличии на поверхности оборудования остатков щелочи лакмусовая индикаторная бумага и универсальная индикаторная бумага окрашиваются в синий цвет, а при отсутствии остатков щелочи обе индикаторные бумаги цвет не меняют. Фенолфталеин, добавленный в промывную воду, окрашивает ее в малиновый цвет при наличии остатков щелочи и не окрашивает ее при отсутствии в ней щелочи.

При наличии на поверхности оборудования или в промывной воде остатков кислоты лакмусовая индикаторная бумага и универсальная индикаторная бумага окрашиваются в малиновый цвет, а при отсутствии остатков кислоты цвет не меняется ни в том, ни в другом случае. Метилоранж, добавленный в промывную воду, окрашивает ее в оранжевый цвет при наличии остатков кислоты и в желтый цвет, если кислотные остатки отсутствуют.

Отработанные щелочные и кислотные растворы собирают в одну емкость, нейтрализуют и при нейтральном рН направляют на сброс в канализацию согласно СанПиН 4630-88.

На эффективность мойки и ополаскивания технологического оборудования и тары, а также на эффективность расхода моющих и дезинфицирующих средств значительное влияние оказывает жесткость воды, применяемой для приготовления моющих и дезинфицирующих растворов, а также для стерилизации и ополаскивания оборудования. Жесткость воды определяется ее минеральным составом. Вода, содержащая большое количество минеральных солей, мало пригодна для мойки оборудования. При ее использовании для опо-

лакивания оборудования, особенно теплового, соли откладываются на его поверхности и способствуют дополнительному загрязнению. При использовании жесткой воды в бутылкомоечных машинах происходит обильное осаждение солей на бутылконосителях, шприцевальных устройствах и поверхности бутылок. Применение этой воды для приготовления моющих и дезинфицирующих растворов приводит к увеличению расхода этих средств для достижения соответствующего моющего и дезинфицирующего эффекта.

Суммарное содержание этих солей обуславливает общую жесткость воды, которая состоит из временной и постоянной жесткости. Временная, или карбонатная, жесткость зависит от присутствия в воде гидрокарбонатов кальция и магния $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \text{ и } \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$. Ее можно устранить кипячением воды, при котором соли разлагаются и выпадают в осадок. Постоянная жесткость не устраняется кипячением и обусловлена присутствием в воде солей, которые не выпадают в осадок при нагревании (CaCl_2 , CaSO_4 , MgCl_2 , MgSO_4).

В нашей стране жесткость воды выражают суммой миллиграмм-эквивалентов ионов кальция и магния, содержащихся в 1 г воды. Один миллиграмм-эквивалент соответствует содержанию 20,04 мг/л солей кальция или 12,16 мг/л солей магния. Различают следующие виды воды по жесткости (мг-экв/л): очень мягкая – 0–1,5; мягкая – 1,5–3,0; среднежесткая – 3–4,5; довольно жесткая – 4,5–6,5; жесткая – 6,5–11; очень жесткая – больше 11. По нормативам других стран значение жесткости воды измеряют в градусах жесткости: 1 немецкий градус жесткости равен 0,35663 мг-экв/л; 1 французский градус жесткости – 0,19982 мг-экв/л; 1 английский градус жесткости – 0,28483 мг-экв/л; 1 американский градус жесткости – 0,01998 мг-экв/л.

В молочной промышленности желательно использовать воду мягкую или среднежесткую. Для этого обычно приходится умягчать водопроводную воду. При этом на молочном предприятии устанавливают значение жесткости воды путем титрования растворами трилона Б различной концентрации. Основой этого метода является способность трилона Б давать прочные малодиссоциированные комплексы с ионами кальция и магния.

Как уже говорилось ранее, воду можно частично умягчить при кипячении, выводя в осадок карбонаты кальция и частично – магния. Для умягчения воды используют также фосфаты и полифосфаты натрия и калия. Они связывают и переводят в водорастворимые комплексы ионы кальция и магния. Кроме того, умягчить воду можно при пропускании через колонки с ионообменными смолами. Наибольшее распространение получили натрий-катиониты и водород-

катиониты, где в результате обменной реакции между ионами кальция или магния и щелочным металлом катионита происходит обменная реакция, в результате которой соли кальция и магния переходят в растворимое состояние.

5.5. Характеристика дезинфицирующих средств

В качестве дезинфицирующих средств в молочной промышленности применяют хлорсодержащие препараты, четвертичноаммониевые соединения (ЧАС) и пероксидные вещества.

Механизм действия хлорсодержащих дезинфектантов состоит в том, что при их растворении в воде образуется хлорноватистая кислота, которая затем разлагается в зависимости от среды на активный кислород или хлор. Эти вещества губительно действуют на клетки микроорганизмов. Хлор является сильным окисляющим веществом и отнимает электролиты от органических веществ, в том числе и входящих в бактериальную клетку. В результате воздействия хлорсодержащего дезинфицирующего вещества денатурируют белки бактериальной клетки и наступает ее гибель. Дезинфицирующие хлорсодержащие препараты эффективны против широкого спектра микроорганизмов.

В качестве хлорсодержащих дезинфицирующих средств для дезинфекции технологического оборудования, инвентаря и тары используют, как правило, гипохлориты натрия или кальция: они содержат в 2,2 раза больше активного хлора, чем общеизвестная хлорная известь. Эти вещества поступают на заводы в виде концентрированных жидкостей с содержанием активного хлора 150–170 г/л (гипохлорит натрия А) и 100 г/л (гипохлорит кальция, 1-й сорт). В молочной промышленности для дезинфекции оборудования, инвентаря и тары используют их растворы с содержанием активного хлора не менее 100 мг/л. Для дезинфекции применяется также натриевая соль дихлоризоциануровой кислоты (ДХЦН), представляющая собой порошок с содержанием активного хлора до 60%, а также нейтральный анолит «АИК» и хлорамин Б.

Хлорную известь, содержащую до 35% активного хлора, применяют в виде осветленных растворов после отстаивания для дезинфекции санузлов и бытовых помещений. Использование хлорной извести при циркуляционной мойке нежелательно, так как могут образоваться солевые отложения на поверхности оборудования в виде нерастворимых солей кальция.

Хорошими антибактериальными средствами, нашедшими применение в молочной промышленности, являются катионактивные вещества из группы четырехзамещенных аммонийных соединений (ЧАС). Кроме того, они обладают слабовыраженными моющими

свойствами. Гибель микроорганизмов при воздействии этих препаратов наступает от того, что они обволакивают бактериальную клетку, дезорганизуя этим тонкий механизм проницаемости поверхностных структур и нарушая все обменные процессы в ней. К препаратам на основе ЧАС относят «СептАбик», (0,025–0,05%-ный раствор), «Сан-Эффект» (0,1–0,2%-ный раствор), «Септодор» (0,015–0,02%-ный раствор), широко применяемые в молочной промышленности.

Для дезинфекции оборудования и тары в молочной промышленности используют дезинфектанты на основе пероксида водорода (от 20 до 60%) и надуксусной кислоты (от 2 до 10%). Один из таких препаратов – «ПЗ-Оксония актив» (PS-oxonia active) – имеет широкий спектр антибактериального действия, например, в отношении бактерий группы кишечной палочки, стафилококков, стрептококков, плесеней, дрожжей и т. д. Его можно использовать для дезинфекции любого вида оборудования, трубопроводов и тары, изготовленных из нержавеющей стали, алюминия, низкоуглеродистой стали, покрытых никелем и латунью, пластмассы, оцинкованного и луженого железа; он также не вызывает отрицательных реакций при контакте с резиной, бетоном и деревом. Для хранения дезинфицирующего средства нельзя использовать тару и аппараты из низколегированной стали, чутуна, латуни, бронзы, меди. Для дезинфекции можно использовать 0,05–3,0%-ный раствор данного дезинфицирующего средства температурой не более 40 °С и временем дезинфекции от 10 до 30 минут.

Для стерилизации упаковочного материала с полимерным покрытием можно использовать пероксид водорода в смеси с неионным ПАВ-блоксополимером ГДПЭ-106. Последний представляет собой твердое парафинообразное вещество белого или светло-желтого цвета, хорошо растворимое в воде при температурах 60–70 °С.

5.6. Дезинфекция технологического оборудования и тары

Химический способ дезинфекции технологического оборудования и тары является достаточно эффективным в бактерицидном отношении при условии строгого соблюдения концентраций дезинфицирующих растворов, режимов ополаскивания, соблюдения правил техники безопасности и пр. Однако сохраняется опасность попадания дезинфицирующих веществ в молочные продукты, а также коррозии оборудования при несоблюдении этих условий.

Одним из лучших и надежных способов дезинфекции является тепловая стерилизация технологического оборудования и тары. Она может быть рекомендована при производстве всех молочных продуктов и

особенно необходима при производстве молочных продуктов для детей, где применение химических дезинфицирующих веществ наиболее нежелательно. При тепловой стерилизации в качестве стерилизующего агента используют горячую воду температурой $(92 \pm 2)^\circ\text{C}$, при условии достижения указанной температуры на выходе из оборудования или трубопровода, подвергающихся стерилизации. Продолжительность воздействия горячей воды указанной температуры на внутреннюю поверхность стерилизуемого объекта должна быть в пределах 10–15 мин.

Наиболее эффективна тепловая стерилизация оборудования острым паром при температуре 110°C и давлении 0,7 атм или при температуре 135°C и давлении 2,7 атм. Продолжительность воздействия пара на внутреннюю поверхность оборудования или трубопроводов должна быть не менее 3–5 минут. Обработка паром полностью уничтожает микроорганизмы на поверхности оборудования и тары.

Кроме тепловой стерилизации для дезинфекции оборудования и тары, применяют обработку ультрафиолетовыми лучами, ультразвуком и пр.

Дезинфекцию оборудования и тары химическими веществами или различными физическими способами проводят сразу же после мойки и ополаскивания оборудования от остатков моющих средств. После дезинфекции химическими дезинфицирующими веществами оборудование обязательно ополаскивают от остатков дезинфицирующих веществ. Тепловое оборудование (пастеризационные, стерилизационные и вакуум-выпарные установки) стерилизуют горячей водой температурой $95\text{--}97^\circ\text{C}$ или острым паром непосредственно перед началом технологического цикла. При производстве детских молочных продуктов дезинфекцию (стерилизацию) оборудования, контактирующего со стерильным продуктом, проводят перед началом его работы посредством обработки растворами дезинфектантов, паром ($110\text{--}135^\circ\text{C}$), горячей водой ($90\text{--}115^\circ\text{C}$) в течение 10–30 минут в зависимости от объема и вида оборудования, его удаленности от источника подачи дезинфицирующего раствора или горячей воды и пара. Упаковочный материал для производства детских молочных продуктов дезинфицируют концентрированными (30–35%) растворами пероксида водорода.

5.7. Факторы, влияющие на эффективность дезинфекции технологического оборудования и тары

Важным фактором, влияющим на эффективность дезинфекции, является концентрация и температура дезинфицирующих растворов. При низкой концентрации развитие микроорганизмов задерживается,

но не происходит их гибель. Слишком высокая концентрация может привести к коррозии технологического оборудования или выделению ядовитых веществ, опасных для здоровья человека. Кроме того, увеличивается расход дезинфицирующих средств. Вместе с тем концентрация должна быть выбрана с таким условием, чтобы обеспечивалось уничтожение микрофлоры на поверхности оборудования.

Выбор концентрации дезинфицирующих растворов связан с температурой и продолжительностью их воздействия на поверхность оборудования. При низкой температуре уменьшается диссоциация растворов, что обуславливает снижение скорости диффузии химического вещества в микробную клетку. Например, при температуре 0 °C многие дезинфицирующие средства теряют свои свойства. С повышением температуры на 10 °C скорость химических реакций возрастает в 2–3 раза. Почти в такой же пропорции усиливается дезинфицирующее действие растворов.

При 0 °C только растворы, содержащие активный хлор, проявляют бактерицидное действие. Это объясняется тем, что повышение температуры приводит к ускорению разложения хлорсодержащих дезинфицирующих растворов и потере ими активного хлора. Поэтому при дезинфекции эти растворы должны иметь температуру 20–25 °C. Температура дезинфицирующих растворов, не содержащих хлор, должна быть в пределах 20–40 °C. Продолжительность дезинфекции – от 7 до 10 минут.

Контроль санитарно-гигиенического состояния производства на молочных предприятиях осуществляется в соответствии с санитарными правилами и нормами СанПиН 2.3.4.551-96 «Производство молока и молочных продуктов», основные показатели которого приведены в табл. 5.1.

Требования к организации мойки и дезинфекции производственных помещений и оборудования, прописаны в ФЗ №88 – Технический регламент на молоко и молочную продукцию.

1. Мойка и дезинфекция производственных помещений, оборудования, инвентаря, тары, транспортных средств должны обеспечивать безопасность продуктов переработки молока, предотвращать возможность вторичного их загрязнения и проводиться с периодичностью, установленной программой производственного контроля.

2. Средства, используемые для проведения мойки и дезинфекции, должны быть экологически безопасными и разрешенными для использования в пищевой промышленности федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по контролю и надзору в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, защиты прав потребителей.

3. Мойка и дезинфекция резервуаров для производства и хранения молока и продуктов его переработки осуществляются не позднее чем через 2 часа после каждого опорожнения резервуаров. Оборудование, не используемое после мойки и дезинфекции более чем 6 часов, повторно дезинфицируется перед началом работы.

4. В случае простоев оборудования более чем 2 часа пастеризованное молоко или нормализованные смеси исходных продуктов его переработки должны быть направлены на повторную пастеризацию, трубопроводы и оборудование должны быть промыты и продезинфицированы.

5. Эффективность мойки и дезинфекции определяется посредством лабораторных испытаний в объеме и с периодичностью, которые установлены программой производственного контроля.

5.1. Примерные показатели для оценки результатов контроля санитарно-гигиенического состояния производства

Исследуемые объекты	Площадь исследуемой поверхности, см ² или количество	Общее количество бактерий в 1 см ² или результат бродильной пробы (ориентировочная оценка)	
		хорошо	плохо
1	2	3	4
Молочные цистерны: железнодорожные (крышка, стенка, угол, дно)	100	Отсутствие бактерий группы кишечной палочки	Наличие бактерий группы кишечной палочки
Автомобильные цистерны (крышка, стенка, угол, дно)	100	То же	То же
Цистерны внутригородского обращения (крышка, стенка, угол, дно)	100	-)-)-	-)-)-
Фляги, ушаты	100	-)-)-	-)-)-
Трубы (краны)	100	-)-)-	-)-)-
Резервуары: крышка, стенка, угол, дно	100	-)-)-	-)-)-
резина, мешалка, шуп, верхний кран, нижний кран, трехходовой кран, отверстие стеклянной трубки	Вся поверхность	-)-)-	-)-)-
Краны	То же	-)-)-	-)-)-
Воздушная трубка, резина	-)-)-	-)-)-	-)-)-

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4
Бутылки, банки	Вся внутренняя поверхность 10 бутылок	100 и менее	Более 100
Капсули укупорочные для бутылок, банок	Поверхность 10 капсулей	То же	То же
Крышки для банок	Вся поверхность	-)-)-	-)-)-
Ванны для заквасок (крышки, стенки, угол, дно, мешалка, кран и трубы)	0,01	Отсутствие бактерий группы кишечной палочки	Наличие бактерий группы кишечной палочки
Ящики для молочных продуктов (крышка, стенка, дно)	То же	То же	То же
Ванны для производства творога (стенка, угол, дно, штуцер)	-)-)-	-)-)-	-)-)-
Мешочки для творога	-)-)-	-)-)-	-)-)-
Автоматы ОЗК для фасования молочных продуктов (бункер, мешалка, дозатор, пуансон, два гнезда для фасованного продукта, бумага, конвейер)	0,01	Отсутствие бактерий группы кишечной палочки	Наличие бактерий группы кишечной палочки
Автомат ОФЗ для фасования творога (бункер, мешалка, дозатор, пуансон, два гнезда для фасованного продукта, бумага, конвейеры, дно ковша, стенка ковша)	То же	То же	То же
Пресс-охладитель Митрофанова (стенка барабана, валки)	-)-)-	-)-)-	-)-)-
Ванны для самопрессования творога (стенка, угол, дно, решетка)	-)-)-	-)-)-	-)-)-
Оборудование маслодельных и сыродельных заводов (сыродельные ванны, сыроизготовители, маслоизготовители)	-)-)-	-)-)-	-)-)-
Вакуум-аппарат (патрубок для входа молока, стенка, крышки, трубки катализатора, патрубок на выходе сгущенного молока)	0,01	500 и менее	Более 500
Вакуум-кристаллизатор (стенка, мешалка, патрубок на выходе готового продукта)	То же	То же	То же

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4
Разливочно-закаточная машина (бачок, мерные стаканы для дозирования сгущенного молока)	-»-	-»-	-»-
Прочий молочный инвентарь и тара	0,01	Отсутствие бактерий группы кишечной палочки	Наличие бактерий группы кишечной палочки
Деревянное оборудование	0,01	Отсутствие роста плесеней	Наличие роста плесеней
Руки работников	Обе руки (кисти), вся поверхность	Отсутствие бактерий группы кишечной палочки	Наличие бактерий группы кишечной палочки

Контрольные вопросы и задания

1. Охарактеризуйте загрязнения, остающиеся на оборудовании после окончания технологического процесса. Назовите факторы, влияющие на степень загрязнения.
2. Каковы цель и способы мойки технологического оборудования и тары?
3. Какие требования предъявляют к моющим средствам в молочной промышленности?
4. Какие факторы влияют на свойства моющих растворов?
5. От чего зависит эффективность мойки оборудования?
6. В какой последовательности моют оборудование?
7. Каковы цель и способы дезинфекции технологического оборудования и тары?
8. Охарактеризуйте химические вещества, применяемые при дезинфекции в молочной промышленности.
9. Какие применяют физические способы стерилизации оборудования и тары?
10. Какие факторы влияют на эффективность стерилизации технологического оборудования?
11. В каком порядке контролируют санитарную обработку технологического оборудования и тары в молочной промышленности?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алазетян Р.Г.* Моющие и дезинфицирующие средства в молочной промышленности. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 168 с.
2. *Атраментов А.Г.* Совершенствование первичной обработки молока. – М.: Агропромиздат, 1990. – 64 с.
3. *Босин И.Н.* Охлаждение молока на комплексах и фермах. – М.: Колос, 1993. – 46 с.
4. *Бредихин С.А., Космодемьянский Ю.В., Юрин В.Н.* Технология и техника переработки молока. – М.: Колос, 2001. – 400 с.
5. *Вайткус В.В.* Гомогенизация молока. – М.: Пищевая промышленность, 1967. – 216 с.
6. *Владыкина Т.В.* Гомогенизация молока и сливок. – М.: АгроНИИТЭИ-мясомолпром, 1993. – 61 с.
7. *Волчков И.И.* Сепараторы для молока и молочных продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – 224 с.
8. *Вышемирский Ф.А., Каранина А.П.* Влияние химизации и интенсификации сельского хозяйства на качество молока и молочных продуктов. – М.: АгроНИИТЭИмясомолпром, 1990. – 40 с.
9. *Ганина В.И. и др.* Техническая микробиология продуктов животного происхождения. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 352 с.
10. *Горбатова К.К.* Биохимия молока и молочных продуктов. – СПб.: ГИОРД, 2000. – 320 с.
11. *Горбатова К.К.* Химия и физика белков молока. – М.: Колос, 1993. – 192 с.
12. *Зобкова З.С.* Пороки молока и молочных продуктов и меры их предупреждения. – М.: Молочная промышленность, 1998. – 80 с.
13. *Золотин Ю.П.* Стерилизованное молоко. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 158 с.
14. *Илюхин В.В., Бураев М.Я.* Справочник механика молокоперерабатывающих предприятий сервиса. – СПб.: Гиорд, 2007. – 240 с.
15. *Канева Е.Ф., Вышемирский Ф.А.* Использование молочного жира. – М.: АгроНИИТЭИмясомолпром, 1991. – 48 с.
16. *Кинг Н.* – Оболочки жировых шариков молока и связанные с ними явления. – М.: Пищепромиздат, 1956. – 94 с.
17. *Курочкин А.А., Ляценко В.В.* Технологическое оборудование для переработки продукции животноводства. – М.: Информагротех, 1998. – 308 с.
18. *Липатов Н.Н.* Сепарирование в молочной промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 400 с.
19. *Лисин П.А., Полянский К.К., Миллер Н.А.* Современное технологическое оборудование для тепловой обработки молока и молочных продуктов. Справочное пособие. – СПб.: Гиорд, 2009. – 131 с.
20. *Мастаков Н.Н.* Технология тепловой обработки молока. – Киев: Вища школа, 1990. – 167 с.

21. Павлова В.В., Васильев Л.Г., Абрамова-Оболенская Н.И. Производство молока и молочных продуктов (Гигиеническое и противозидемическое обеспечение). – М.: ИНФОРМАГРОТЕХ, 1999. – 280 с.
22. Свйтцов А.А. Введение в мембранные технологии. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 207.
23. Степаненко П.П. Микробиология молока и молочных продуктов. – МО.: Все для Вас-Подмосковье, 1999. – 412 с.
24. Степанова Л.И. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. В 3 т. Т.1. Цельномолочные продукты. – СПб.: ГИОРД, 1999. – 384 с.
25. Сурков В.Д., Липатов Н.Н., Золотин Ю.П. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 432 с.
26. Тепел А. Химия и физика молока. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 624 с.
27. Технология молока и молочных продуктов / Г.В. Твердохлеб, З.Х. Диланян, Л.В. Чекулаева, Г.Г. Шилер. – М.: Агропромиздат, 1991. – 464 с.
28. Технология производства молочных продуктов: Справочник. – М.: Тетра Пак АО, 2001. – 400 с.
29. Тихомирова Н.А. Технология и организация производства молока и молочных продуктов. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 560 с.
30. Фетисов Е.А., Чагаровский А.П. Мембранные и молекулярно-ситовые методы переработки молока. – М.: Агропромиздат, 1991. – 272 с.
31. Физико-технические основы холодильной обработки пищевых продуктов / Г.Д. Аверин, Н.К. Журавская, Э.И. Каухчешвили и др. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.
32. Харитонов В.Д., Шепелева Е.В. Приемка и первичная обработка молока. – М.: Молочная промышленность, 1997. – 54 с.
33. Храмов А.Г., Рохмистров В.В. Производство молочного сахара. – М.: Агропромиздат, 1991. – 128 с.
34. Чекулаева Л.В. Нормализация молока при производстве молочных консервов. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 97 с.
35. Шидловская В.П. Органолептические свойства молока и молочных продуктов. – М.: Колос, 2000. – 280 с.
36. Фялкова Е.А. Гомогенизация. Новый взгляд. Монография-справочник. – СПб.: Гиорд, 2006. – 387с.
37. Фильчакова С.А. Санитарно-гигиенические условия производства на предприятиях молочной промышленности. – М.: ООО «Полисувенир», 2007. – 214 с.
38. Фильчакова С.А. Санитария и гигиена на предприятиях молочной промышленности. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 276 с.
39. Федеральный закон № 88-ФЗ – Технический регламент на молоко и молочную продукцию от 12.06.2008 (в ред. федерального закона №163-ФЗ от 22. 07. 2010).

Содержание

Введение	3
Глава 1. Сырье для молочной промышленности	7
1.1. Виды молочного сырья	7
1.2. Характеристика молочного сырья	10
1.2.1. Состав молочного сырья	10
1.2.2. Свойства молочного сырья	39
1.2.3. Влияние зоотехнических и ветеринарных факторов на состав и свойства молочного сырья	47
1.3. Требования к качеству молока	51
1.3.1. Требования к сырому молоку, сырому обезжиренному молоку и сырым сливкам	54
1.4. Санитарно-гигиенические условия получения молока на фермах	62
1.5. Бактерицидная фаза молока и способы ее продления	64
1.6. Первичная обработка молока на ферме	65
1.7. Пороки сырого молока	72
1.8. Приемка молока на заводе	83
1.9. Оценка соответствия молока и продуктов его переработки требованиям Федерального закона №88-ФЗ	87
1.10. Подтверждение соответствия молока и продуктов его переработки требованиям Федерального закона №88-ФЗ	89
1.10.1. Формы подтверждения соответствия молока и продуктов его переработки требованиям Федерального закона №88-ФЗ	89
1.10.2. Права и обязанности заявителя при подтверждении соответствия молока и продуктов его переработки требованиям Федерального закона №88-ФЗ	90
1.10.3. Обязательное подтверждение соответствия молока и продуктов его переработки в форме декларирования соответствия	90
Глава 2. Механическая обработка молока и молочных продуктов	96
2.1. Виды и устройство сепараторов	96
2.2. Очистка молока от механических и микробиологических примесей	98
2.3. Выделение молочного жира из молочного сырья	102
2.4. Влияние различных факторов на эффективность сепарирования	110
2.5. Нормализация молока	114
2.6. Гомогенизация в молочной промышленности	119
2.6.1. Стабильность эмульсии молочного жира	119
2.6.2. Структура оболочки жировых шариков	122
2.6.3. Гомогенизация молока и молочных продуктов	128
2.6.4. Влияние различных факторов на эффективность гомогенизации	133

2.6.5. Изменение состава и свойств молочного сыра при гомогенизации	136
2.6.6. Раздельная гомогенизация молочного сыра	142
Глава 3. Мембранная обработка молочного сыра	145
3.1. Методы мембранной обработки молочного сыра	145
3.1.1. Классификация баромембранных процессов	145
3.1.2. Обратный осмос	148
3.1.3. Наночислитель	149
3.1.4. Ультрачислитель	150
3.1.5. Микрочислитель	152
3.2. Характеристика аппаратов для мембранной числитель	153
3.3. Характеристика полупроницаемых мембран	158
3.4. Влияние различных факторов на эффективность мембранной числитель	164
3.5. Другие методы мембранной обработки молочного сыра	169
Глава 4. Тепловая и вакуумная обработка молока и молочных продуктов	172
4.1. Назначение и виды тепловой обработки	172
4.2. Охлаждение молочного сыра и молочных продуктов	173
4.3. Замораживание молочного сыра и молочных продуктов	175
4.4. Пастеризация молочного сыра	180
4.5. Стерилизация молочного сыра	187
4.5.1. Термостойчивость молочного сыра	187
4.5.2. Способы и режимы стерилизации молочного сыра	191
4.5.3. Факторы, влияющие на эффективность стерилизации	199
4.6. Термовакuumная обработка молочного сыра	202
4.7. Изменение состава и свойств молочного сыра при тепловой обработке	203
Глава 5. Санитарная обработка технологического оборудования и тары	213
5.1. Назначение мойки и дезинфекции технологического оборудования и тары	213
5.2. Характеристика и свойства моющих средств	216
5.3. Последовательность мойки технологического оборудования и тары	222
5.4. Факторы, влияющие на эффективность мойки технологического оборудования и тары	225
5.5. Характеристика дезинфицирующих средств	230
5.6. Дезинфекция технологического оборудования и тары	231
5.7. Факторы, влияющие на эффективность дезинфекции технологического оборудования и тары	232
Список рекомендуемой литературы	237