

В.Г. Самосюк, генеральный директор, кандидат экономических наук, доцент
А.М. Литовский, заведующий сектором
О.Н. Буляк, научный сотрудник
С.Л. Романов, руководитель группы, кандидат биологических наук, доцент
(РУП "НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства")

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОХЛАЖДЕНИЯ ПАРНОГО МОЛОКА

Микробиология молока

Все слышаны о пользе парного молока, или, как говорят в Беларуси, сыродоя. Как количество витаминов, так и микроорганизмов, которые содержатся в молоке, после дойки в течение 2 часов не только не увеличивается, но и понижается. Способность молока подавлять действие микроорганизмов называется бактерицидным свойством, а период времени, в течение которого в молоке проявляются бактерицидные свойства, называется бактерицидной фазой. Длительность бактерицидной фазы зависит от бактериальной обсемененности, которая, в свою очередь, зависит от соблюдения санитарно-гигиенических условий и от температуры молока (чем она выше, тем короче бактерицидная фаза).

Если молоко после дойки сразу очистить и охладить до 4°C, то продолжительность бактерицидной фазы может составлять 24 часа, если до 0°C – до 48 часов.

Бактерицидные свойства молока обусловлены наличием в нем ферментов (лизоцима, пероксидазы), иммуноглобулинов, лейкоцитов.

Парное молоко имеет температуру тела коровы – 37 градусов. Получить его стерильным невозможно: как ни обрабатывай вымя и сосковую резину, определенное количество микроорганизмов в молоко попадет.

Известны два пути обсеменения молока микроорганизмами: эндогенный и экзогенный. В первом случае молоко обсеменяется микробами непосредственно в вымени животного. К ним относятся энтерококки, микрококки, иногда маститные стрептококки и коринебактерии. Экзогенное обсеменение происходит из внешних источников: кожи животного, подстилочных материалов, кормов, воздуха, воды, доильной аппаратуры, рук и одежды персонала. Эта микрофлора, в основном, представлена кишечными палочками, энтерококками, молочно-кислыми и масляно-кислыми бактериями, спорообразующими бациллами, актиномицетами, дрожжами, плесневыми грибами [1].

Охлаждаясь с 37 градусов до, скажем, комнатной температуры, молоко проходит через значения оптимальных температур для самых разных групп микроорганизмов. Но молоко – прекрасная питательная среда для них. В результате мы получаем оптимальную питательную среду и оптимальную температуру. В таких условиях количество некоторых микробов удваивается каждые 20 минут (через 7 часов – 2 млн. потомков одной бактерии). Последствия для продукта самые печальные: молоко с изначально низким содержанием бактерий быстро скисает (рисунок 1).

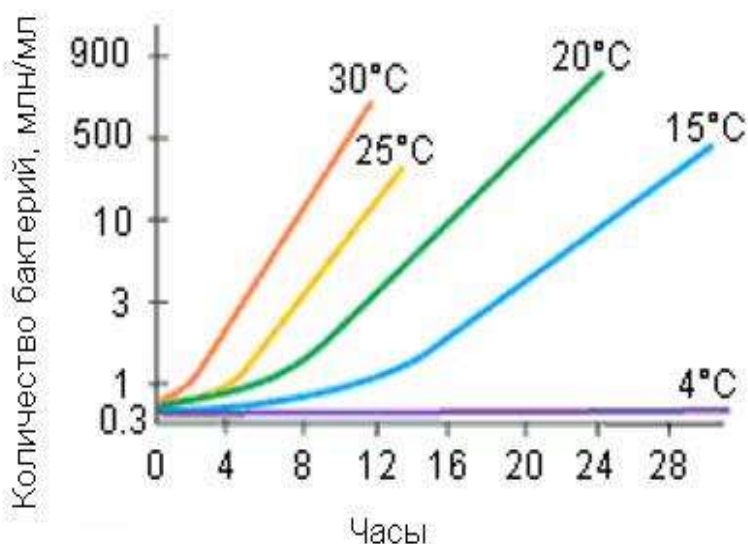


Рисунок 1 – Размножение бактерий в молоке при разных температурах

Борьба с микробами посредством охлаждения молока

Наконец, одно дело – бабушка Аня с доенкой только что отошла от коровы, процедила и наливает внучку кружку, совсем другое – дойка 300–400 коров среднего дойного стада современной фермы. Молоко от доильной установки «Елочка», «Параллель» или доильного робота по молокопроводам движется в емкость для хранения – танк. За одну дойку емкость набирает полторы-две тонны. Молоко в неохлаждаемой емкости теплое, охлаждается медленно, и если не принять мер, то перевозка молока до перерабатывающего предприятия будет проходить в идеальных условиях для микроорганизмов. По прибытии на молокозавод его определят как несортное, но сделают из него продукт, который поступит на прилавки. От прелестей парного молока в этом продукте ничего не останется. Безопасен после стерилизации-пастеризации – и слава богу.

Существует ряд способов определения качества молока [2], но все они только констатируют изменения, которые уже произошли с молоком. А для производства качественного молочного сырья его надо немедленно охладить после дойки и хранить на МТФ при температуре 4..5°C до перевозки на дальнейшую переработку, чтобы в дальнейшем получить сливки, сметану, творог, кумыс, сыр, ряженку, пахту, сыворотку, варенец, кефир, йогурт, простоквашу, ацидофилин и прочие вкусные полезные продукты.

Охлаждение молока на ферме преследует две основные цели:

- замедлить порчу молока бактериями;
- продлить срок нахождения молока на ферме, чтобы снизить затраты на его транспортировку. В сложившихся условиях производства молока, как правило, молоко с фермы забирают на перерабатывающие предприятия (центровывоз) один раз в сутки.

Международная молочная федерация предлагает производить охлаждение молока до 15°C, если молоко направляется на переработку в течение 4 часов по-

сле дойки; до 10°C, если оно направляется на переработку не позже 24 часов после дойки; до 4°C, если молоко хранится на ферме свыше суток.

Чтобы получить высококачественное молоко, необходимо строго соблюдать правила санитарной гигиены. Очень важным является замедление роста бактерий во время хранения. При температуре тела бактерии в молоке размножаются очень быстро и молоко, даже произведенное в определенных гигиеничных условиях, сохранит хорошее качество в течение 15–20 часов. Однако существенна не только температура хранения. Время, необходимое для достижения температуры хранения, также крайне важно.

Первой условно критической точкой охлаждения молока является температура +10°C, при достижении которой все процессы, связанные с ростом и развитием бактерий, существенно замедляются. При достижении температуры +4°C все негативные процессы в молоке практически полностью прекращаются на период до 48 часов. Этого времени вполне достаточно для осуществления плановых мероприятий по сбору молока и его последующей транспортировке переработчику. Для предотвращения окисления жира и белка в молоке самое важное – контролировать взаимодействие с кислородом и прямым солнечным светом. Когда молоко «ожидает» транспортировки, оно должно быть защищено от прямого солнечного света.

Но молоко – это очень нежный продукт, кроме растворенных веществ оно содержит коллоидные частицы жира и белка. Это многокомпонентная полидисперсная система, в которой все составные вещества находятся в тонкодисперсном состоянии, что обеспечивает молоку жидкую консистенцию. Удельный вес жира меньше, чем воды, белка – больше. Вся коллоидная взвесь удерживается за счет сложных физико-химических взаимодействий на поверхности частиц. Стоит молоко чуть-чуть приморозить, и коллоидная система разрушится, образуются хлопья, компоненты молока будут осаждаться, в том числе на холодильнике. То есть как бы ни хотелось быстро охладить молоко, напрямую это делать нежелательно.

Охладители молока: открытые и закрытые

В общем виде танки-охладители, предназначенные для сбора, охлаждения и временного хранения молока, по способу хранения подразделяются на открытые и закрытые. Открытые, как правило, имеют объем до 3000 л и предназначены для использования на небольших фермах. Их особенностью является откидываемая крышка. Открытые танки промываются вручную, поэтому их рекомендуется использовать там, где нет квалифицированного персонала, способного эксплуатировать и обслуживать сложные системы управления и автоматы промывки. Ввиду того что верхняя (подъемная) часть этих танков не имеет термоизоляции, охлажденное молоко в этих танках нагревается быстрее и холодильный агрегат танка чаще включается для поддержания заданной температуры. Да и вид они в эксплуатации часто имеют непрезентабельный (рисунок 2).



Рисунок 2 – Резервуар-охладитель открытого типа

Закрытые танки имеют герметичный корпус с надежной термоизоляцией и всегда оборудуются системами автоматической промывки (рисунок 3). Кроме того, они имеют технологический люк небольшого диаметра, через который при необходимости возможен спуск специалиста для проведения ремонтных мероприятий.



Рисунок 3 – Охладитель молока закрытого типа емкостью 10 000 литров (производства ОАО «Несвижский райагросервис»)

Способы охлаждения молока

По способам охлаждения различают охладители молока прямого (непосредственного) охлаждения и с промежуточным хладоносителем. Охладители с промежуточным хладоносителем подразделяются на льдоаккумулирующие (с фазовым переходом хладоносителя) и чиллеры (без фазового перехода).

Система прямого охлаждения является наиболее распространенной и применяемой в танках большинства производителей (DeLaval, Westfalia, Serap и т.п.). Охлаждение продукта происходит при его непосредственном контакте с поверхностью испарителя холодильной машины, являющейся одновременно неотъемлемой частью конструкции внутренней емкости молочного танка. В качестве хладагента используется фреон.

В системах с льдоаккумуляцией (Раско, Dari-kool, Everest, Инфрост) используют холодильный агрегат, охлаждающий хладоноситель которого хранится в теплоизолированной емкости. Как правило, льдоаккумулятор и молочная емкость совмещены и расположены в одном корпусе. Молоко охлаждается ледяной водой с температурой 0...1°C. Вода распыляется на стенки резервуара, где хранится молоко и, забирая тепло у молока, стекает по внешней поверхности молочной емкости в область нахождения льдогенератора, где происходит медленное таяние льда и повторное его намораживание, если количество льда достигнет критического минимума.

В льдоаккумуляторе происходит постоянное накопление льда. При охлаждении молока лед плавится. Удельная теплота плавления льда составляет 334 кДж/кг, таким образом для охлаждения 1000 литров молока на 25°C необходимо около 300 кг льда. При охлаждении молока ледяной водой без аккумуляции необходимо 5,5 м³ воды с начальной температурой 0,5°C и температурой на выходе 5°C. Поэтому аккумуляция холода в воде (полипропиленгликоле) без намораживания малоэффективна. При накопленной массе льда любая нагрузка преодолевается меньшим по мощности компрессором. В генераторе ледяной воды после прекращения тепловой нагрузки на поверхности труб снова начинает намораживаться лед – накапливается холод до очередного "пика". В результате оборудование меньшей холодопроизводительности обеспечивает необходимое количество холода, работая с более равномерными нагрузками. Представленный фирмой Раско на рисунке 4 график дает наглядное представление о скорости охлаждения молока в зависимости от типа применяемого оборудования.



Рисунок 4 – Скорость охлаждения молока в зависимости от способа охлаждения

Основные компоненты танка-охладителя

Танк-охладитель состоит из компрессорно-конденсаторного агрегата, обеспечивающего циркуляцию хладагента и охлаждение молока, и теплоизолированной емкости с испарителем и панелью управления. Внешне танки могут иметь форму горизонтального цилиндра, эллипса или «супер-эллипса». Изготавливая танки различных форм, производители стремятся увеличить площадь поверхности охлаждения и одновременно оптимизировать габариты для более легкого «вписывания» в существующие планировки помещений. В этом отношении еще до недавнего времени системы с использованием льдоаккумуляторов существенно уступали танкам с непосредственным охлаждением, т.к. помимо самой молочной емкости необходимо еще было разместить емкость для накопления льда. Но, благодаря техническому решению, позволившему совместить аккумулятор льда и молочную емкость в одном корпусе, данная проблема была успешно решена.

Пластинчатые и трубчатые теплообменники

Для того чтобы без ухудшения технических характеристик всей установки сэкономить, смонтировав менее мощные компрессоры, нужно обеспечить предварительное охлаждение молока путем применения пластинчатых или трубчатых теплообменников. Пластинчатые теплообменники давно применяются на фермах. Как правило, они включаются в водопроводные магистрали, имеющие забор из скважин, и снижают температуру проходящего через них молока до 15–17°C. Внешний эффект очевиден – температура за короткий промежуток времени существенно снижается, уменьшается время на доохлаждение, соответственно, снижается нагрузка на компрессорный блок, энергопотребление и увеличивается срок службы блока.

Но применение данной системы имеет и ряд недостатков: из-за плохого качества проточной воды теплообменникам требуется частое техническое обслуживание, замена резиновых прокладок и очистка пластин. Для предотвращения отложения осадка между пластинами как молоко, так и воду следует фильтровать перед тем, как направлять через пластинчатый охладитель. Для получения максимального эффекта предварительного охлаждения скорость потока воды из магистрали должна быть в 2,5–3 раза выше скорости потока молока. Нагретая в процессе охлаждения молока вода могла бы быть использована при поении животных, промывке оборудования, для бытовых нужд, но практически такое использование имеет ряд сложностей, поэтому, как правило, ее сбрасывают в сливной трап, что приводит к огромному перерасходу.

Такие проблемы не возникают при использовании трубчатого теплообменника и ледяной воды, производимой льдогенератором для танка-охладителя молока по замкнутой схеме. В трубчатых теплообменниках молоко проходит через нержавеющую трубу, в то время как охлаждающая среда (главным образом вода) проходит в противоположном направлении через вторую трубу, окружающую первую. Все техническое обслуживание трубчатого теплообменника сводится к обычной промывке в составе общей системы транспортировки молока от молокопроводов до танка. Система является безразборной. Давление ледяной воды в си-

стеме поддерживается всегда на необходимом уровне благодаря центробежному насосу.

Аппарат промывки и его компоненты

Охлаждение молока до температуры, не позволяющей бактериям ускоренно размножаться, имеет смысл только тогда, когда сама среда и определенная система мероприятий исключает возможность образования их колоний. Поэтому важным элементом устройства для охлаждения являются системы промывки. Они состоят из промывочного насоса (производительностью до 2,5 м³/ч при давлении до 0,2–0,5 МПа), насосов-дозаторов моющих веществ и непосредственно устройств для распыления воды и моющих веществ внутри емкости. Большинство производителей устанавливают насосы промывки того же производителя, который выпускает мотор-редуктор перемешивающих устройств. Поэтому различия обусловлены вариантами распыления воды. Одни производители предлагают промывку через полый вал редуктора мешалки, где мойка всей внутренней поверхности производится при работающем мотор-редукторе. Другие производители устанавливают отдельные промывочные валы внутри емкости, не имеющие дополнительного привода, а мойка происходит за счет вращения разбрызгивающей головки в результате подачи воды под давлением. Третий вариант предусматривает установку нескольких стационарных форсунок в верхней части емкости. Каждая из них имеет собственный фронт промывки с общим покрытием 100% внутренней поверхности танка.

Всей системой управляют автоматы промывки. Благодаря использованию этих программируемых устройств, возможно не только управление процессами охлаждения молока, но и повышение эффективности использования воды и ускорение промывки до 1,5 раз.

Дополнительное оборудование танка-охладителя

Водонагреватели проточного или накопительного типа необходимы для обеспечения качественной промывки емкости после слива молока. Их емкость рассчитывается из условия использования “только для промывки танка” или “промывки прочего оборудования и использования для технологических нужд”.

Для предотвращения выхода оборудования из строя из-за неудовлетворительного качества воды необходимо проводить мероприятия по водоподготовке, которые включают проведение предварительного анализа используемой воды, составление рекомендаций относительно количества степеней очистки и подбор фильтров (это могут быть фильтры только для механической очистки либо системы смягчения воды и прочее).

Монитор напряжения сети дает возможность защиты электрических цепей танка-охладителя от скачков напряжения в сети, обрыва или сдвига фазы и перегрева обмоток электродвигателя, целесообразно применение стабилизатора напряжения питающей сети.

Электронный счетчик молока является интересной альтернативой мерным линейкам и позволяет, сведя к минимуму человеческий фактор, определять объем отгружаемого молока.

В республике уже налажен выпуск современного молокоохладительного оборудования, удовлетворяющего потребности хозяйств с различными производственными условиями и продуктивностью. В РУП "НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства" разработаны и успешно прошли приемочные испытания молокоохладительные установки вместимостью 3000, 5000, 8000 и 10 000 л молока, создание которых предусматривалось "Системой машин на 2006-2010 гг. для реализации научно обоснованных технологий производства основных видов продукции животноводства" (рисунок 5). Разработанное оборудование оснащается молочной емкостью закрытого типа, выполняет непосредственное охлаждение молока, комплектуется рекуператором тепла и системой автоматической санитарно-гигиенической обработки молочной емкости. Охладители такого типа характеризуются наименьшей металлоемкостью, трудозатратами и удельным энергопотреблением. Освоено серийное производство разработанных охладителей на ОАО «Несвижский райагросервис» и ИП «Промтехника-Агросервис» (г. Брест). Выпускаемая этими предприятиями продукция по конструктивным и технологическим параметрам соответствует требованиям как отечественных ТНПА, так и международных стандартов (ISO 5708). Совокупный объем выпуска отечественного молокоохладительного оборудования превысил 1200 единиц, и поставка импортных охладителей свелась к минимуму.



Рисунок 5 – Отечественные молокоохладительные установки

Оценка конструктивных параметров

Изучение лучших образцов охладительного оборудования, демонстрируемого на международных выставках (в т.ч. Eurotier-2010 в г. Ганновере, Германия), анализ информации каталогов и проспектов ведущих производителей в данной отрасли показывает основные тенденции и пути развития оборудования для охлаждения молока на ближайшие 5–10 лет.

1) *Повышение энергоэффективности процесса первичного охлаждения молока.* Реализация этого направления осуществляется путем применения новых типов холодильных компрессоров и аппаратуры холодильного контура, внедрения частотного и иных способов пропорционального регулирования холодопроизво-

длительности систем, применения электронных терморегулирующих клапанов, позволяющих получать максимальную холодопроизводительность при минимуме энергозатрат. Другой путь оптимизации энергопотребления – повышение степени рекуперации тепла охлаждаемого молока и использование этого тепла не только для локальных санитарно-гигиенических целей, но и для нагрева воды, например, для целей отопления или поения животных в зимнее время. Отмечается также тенденция к расширению использования природных источников холода, например артезианской воды, для предохлаждения молока, поступающего в молочный танк. В странах с высокой долей производства электроэнергии на атомных АЭС все большую популярность приобретают охладители с промежуточным хладагентом – это объясняется тем, что в ночное время тарифы на электроэнергию в 5–10 раз ниже дневных, а такие охладители могут аккумулировать холод ночью в количестве, достаточном для охлаждения и хранения молока днем без включения холодильного агрегата.

2) *Сокращение издержек на сопряженные процессы, в т.ч. транспортные.* На выставке EuroTier-2010 сразу несколько фирм демонстрировали так называемые Silo-танки – охладители молока емкостью от 15 до 50 тысяч литров, конструктивно выполненные для расположения вне помещения молочного блока. Такие конструкции позволяют снизить капитальные затраты на возведение помещений, с другой стороны, они нужны для сбора молока на протяжении двух и даже трех суток, т.е. позволяют в 2-3 раза сократить издержки на транспортировку молока переработчикам.

3) *Повышение уровня автоматизации.* Все современные охладители оснащаются системами обмена данными и включены в информационную сеть, обеспечивающую управление технологическим процессом на ферме.

4) *Охладитель должен обеспечивать сохранность качества молока.* Для этого применяются системы санитарно-гигиенической обработки нового поколения, позволяющие производить как высококачественную промывку оборудования, так и полное обеззараживание поверхностей, контактирующих с молоком. Кроме того, серьезное внимание уделяется экологической чистоте процесса, возможности рециклинга моющих средств, применения физических способов очистки и дезинфекции вместо химических.

5) *Новое направление развития техники для охлаждения молока, включающее все вышеперечисленные тенденции, – охладители для роботизированных систем доения.* Особенность данного типа оборудования определена спецификой самой роботизированной технологии, когда поступление молока в танк происходит с относительно малой интенсивностью на протяжении 20 часов в сутки. Охладители для доильных роботов должны иметь и систему измерения объема поступающего на охлаждение молока, и систему пропорционального регулирования холодопроизводительности, и возможность автоматического подключения дублирующего молочного танка при заполнении основного, а также ряд других опций, значительно отличающих данные модели, в том числе простой и эффективный способ заполнения танка молоком через нижний, традиционно только сливной узел. Благодаря такой «мелочи», молоко не травмируется, не разбрызги-

вается, не перемешивается с воздухом, попадает на охлаждение спокойным ламинарным потоком, что тоже способствует сохранению его качества.

Заключение

Охлаждение молока все же не проходит бесследно для его качества. После хранения молока длительное время при температуре 2–6°C способность его к свертыванию сычужным ферментом (при производстве высококачественных сыров) заметно ухудшается. Полученный сгусток характеризуется способностью к синерезису (выделению жидкой фазы) и меньшей прочностью. При охлаждении молочного сырья 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.

Охлаждение и хранение охлажденного молочного сырья приводит к разрушению витаминов. Например, витамин С разрушается на 18% при хранении охлажденного молока в течение 2 суток и на 67 % – при хранении 3 суток.

При охлаждении молока происходит изменение состава микрофлоры сырого молока – замедляется рост мезофильной и термофильной микрофлоры и начинают преобладать психрофильные бактерии, развивающиеся в молоке от 5 до 15°C.

Поэтому охлажденное молоко не следует все же долго задерживать на ферме. Необходим определенный компромисс между желанием сконцентрировать максимальное количество молока для сокращения транспортных затрат и необходимостью сохранения его качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степаненко, П.П. Микробиология молока и молочных продуктов / П.П. Степаненко. – М., 1999. – 249 с.
2. Рыжов, В.С. Повышение качества молока / В.С. Рыжов, С.В. Рыжов. – М.: ВО «Агропромиздат», 1988.