

## ВВЕДЕНИЕ

Основная масса молока, вырабатываемого в России, приходится на летний пастбищный период с относительно высоким уровнем средней температуры окружающей среды. Из-за отсутствия эффективных способов охлаждения в свежесвыдоенном молоке происходит быстрый процесс нарастания кислотности, в связи с чем оно нередко становится малопригодным к глубокой переработке и принимается молочными предприятиями как низкосортное. Это приводит к существенным экономическим потерям товаропроизводителей, что, в сочетании с низкой производительностью труда, делает молочную отрасль производства в отдельных случаях практически нерентабельной. Поэтому в последнее время возникла острая необходимость в поиске новых технологических подходов к решению проблемы повышения качества первичной обработки молока в условиях его непосредственного производства.

В монографии рассмотрены основные принципы построения энергосберегающей технологии быстрого охлаждения парного молока применительно к условиям летних ферм. Данная тема является логическим продолжением комплексных теплофизических исследований, проводимых на кафедре промышленной электроники Рязанской государственной радиотехнической академии, и направлена на решение одной из важных народно-хозяйственных проблем — повышение качества и продолжительности сохранения натуральных свойств свежесвыдоенного молока.

В первой главе монографии представлен аналитический обзор состояния проблемы охлаждения молока в условиях его непосредственного производства. Дана краткая историческая справка, а также рассмотрены перспективы развития современного холодильного оборудования и возможности его использования в условиях работы летних ферм. Проанализирован ряд наиболее перспективных разработок, опубликованных в виде заявок и патентов на изобретение. Особое внимание при этом уделено анализу технических решений, в которых проявляются признаки энергосберегающих технологий. Рассмотрены некоторые особенности условий реального производства, непосредственным образом влияющие на биохимические показатели конечного продукта.

Во второй главе приведены результаты теоретических исследований, связанных с разработкой методики количественной оценки бактерицидных свойств молока. Показано, что свежeweыдоенное молоко представляет собой высокоэнергетичную систему, стремящуюся занять уровень с минимальным значением энергии. Такой переход связан с необратимым преобразованием энергии, средняя скорость рассеяния которой находится в хорошем соответствии с известным соотношением Аррениуса. По результатам математической обработки представленных в литературе экспериментальных данных получены аналитические соотношения, описывающие процесс протекания бактерицидной фазы молока в зависимости от температурного режима его хранения. Это, в свою очередь, открывает возможность оценки эффективности оборудования и технологических процессов, предназначенных для первичной обработки молока с точки зрения качества конечного продукта.

Установлено, что общепринятая технология первичной обработки принципиально не способствует сохранению высокого качества молока независимо от условий его получения. В частности, максимальная продолжительность бактерицидной фазы молока, вырабатываемого в условиях летних ферм, составляет около 2,4 часа. В условиях стационарных ферм продолжительность бактерицидной фазы несколько выше, хотя и в этом случае ее значение не превышает 2,7 часа. По сути дела ресурс бактерицидности молока является полностью израсходованным на этапе промежуточной транспортировки, либо практически сразу же после перекачки молока в танк-охладитель ТОМ-2.

В ходе дальнейшего анализа показано, что улучшение санитарного состояния доильного оборудования играет важную роль в формировании качества конечного продукта, однако основным направлением решения этой проблемы является реализация технологии быстрого охлаждения молока, осуществляемой в процессе его непосредственного получения.

Третья глава посвящена разработке основных принципов построения энергосберегающей технологии быстрого охлаждения молока, основанной на использовании одного из наиболее доступных источников естественного холода — воды с глубиной залегания 10...15 метров. Ее практическая реализация предусматривает непосредственное подключение высокоэффективного жидкостного теплообменника к вакуумной магистрали доильной установки через расширитель с фильтрами механической очистки и стабилизатор потока, соединенных между собой обводным вакуумпроводом. Такое конструктивное решение позволяет обеспечивать очистку и быстрое охлаждение молока прак-

тически сразу в процессе его получения при потребляемой мощности, которая в расчете на среднюю ферму хозяйства (стадо из 200 голов) не превышает 750 Вт.

Другим положительным моментом, связанным с реализацией этого способа охлаждения, является также решение проблемы водоснабжения летних ферм.

Показано, что при наиболее приемлемом уровне охлаждения  $+9\text{ }^{\circ}\text{C}$  продолжительность бактерицидной фазы свежесвыдоенного молока, обработанного по предлагаемой технологии, составляет 22,4 часа, что более чем в 9,3 раза превышает продолжительность бактерицидной фазы молока охлажденного по общепринятой технологии. Кроме того, по уровню бактериальной обсемененности в пределах 28,8 часов хранения такое молоко сохраняет свойства, соответствующие высшему сорту, и в течение этого времени может быть реализовано по самой высокой закупочной цене.

По результатам экспериментальных исследований режима движения молока в вакуумной магистрали, а также анализа баланса энергий в каналах теплообменника установлено, что основным условием, способствующим реализации высокой эффективности охлаждения, является обеспечение постоянства массовых расходов взаимодействующих жидкостей. Для выполнения этого условия разработана конструкция элементов подключения теплообменника (расширителя и стабилизатора потока), обеспечивающих отбор молока из магистрали молокопровода и преобразование его пульсирующей подачи в сплошной непрерывный поток без нарушения производительности доильной установки.

Показано, что уровень модуляции потока молока в системе определяется геометрическими размерами расширителя и может быть сведен к минимуму соответствующим подбором его диаметра. Дополнительная стабилизация потока обеспечивается за счет размещения в расширителе фильтров механической очистки и выравнивания давлений остаточной атмосферы на входе и выходе теплообменника соединением объемов расширителя и стабилизатора потока обводным вакуумпроводом.

На основании комплексного анализа жидкостного тракта системы в целом сформулированы наиболее общие требования, предъявляемые к основным элементам устройства. Получено аналитическое соотношение, определяющие величину собственного гидростатического напора в системе. Установлена зависимость параметра теплопередачи от глубины остаточной модуляции массового расхода молока в каналах теплообменника.

Приведено устройство, а также описан один из наиболее простых способов бурения скважин малой производительности. При этом отмечается, что использование глубинных скважин центрального водоснабжения в качестве альтернативных источников охлаждающей воды является менее предпочтительным из-за ее неизбежного подогрева в теплое время года.

В четвертой главе теоретически и экспериментально исследуются процессы, определяющие условия конвективного теплообмена в каналах реальных охладителей. В ходе предварительного анализа установлен режим движения жидкостей, определена наиболее приемлемая с точки зрения построения компактных легкоразборных теплообменников форма сечения каналов, а также рассмотрены особенности граничных условий, определяющих процесс формирования коэффициентов теплоотдачи в каналах реальных систем.

Результаты предварительного анализа явились основанием для проведения серии модельных экспериментов по исследованию теплоотдачи в геометрически подобных системах при граничных условиях, максимально приближенных к реальным. По результатам обобщения экспериментальных данных получено критериальное соотношение, описывающее условия теплоотдачи в плоских каналах большой протяженности при ламинарном режиме течения жидкости.

Показано, что в условиях значительного перепада давлений в смежных контурах теплообменника деформация разделительных перегородок приводит к изменению гидравлического сопротивления каналов. В ходе экспериментальных и теоретических исследований сформулировано требование, предъявляемое к минимальному значению толщины стенки, при котором еще возможна компенсация потерь проницаемости в условиях располагаемого собственного гидростатического напора.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана методика расчета высокоэффективных жидкостных теплообменников, а также сформулирован ряд практических рекомендаций по выбору основных параметров проектируемых устройств.

В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований, связанных с разработкой и изготовлением двух типов высокоэффективных легкоразборных проточных охладителей и их испытанием в реальных условиях производства.

Охладитель с производительностью 250 л/ч спроектирован для совместной работы с доильными установками, оснащенными четырьмя вакуумными магистральями. Конструктивно он выполнен в виде

двух независимых блоков, соединенных между собой с помощью двух плавающих петель и стянутых в рабочем состоянии через уплотнение силовыми замками.

Охладитель с производительностью 750 л/ч предназначен для быстрого охлаждения молока в схемах доения коров с одним центральным молокопроводом. Его конструкция представляет собой набор теплообменных поверхностей в виде жестких меандров, установленных на горизонтальном столе между плоскими крышками и стянутых через вакуумные уплотнения силовым винтом.

Настройка режима работы охладителей производится только на этапе непосредственного подключения к магистралям доильных установок, а их обслуживание сводится к очистке рабочей поверхности, которая осуществляется при вскрытии их молочного контура.

Для вскрытия теплообменника с производительностью 250 л/ч достаточно открыть стягивающие замки и отвести подвижный блок в сторону.

Для вскрытия теплообменника с производительностью 750 л/ч необходимо отвернуть на 3–4 оборота силовой винт и освободить две подвижные штанги. После этого теплообменные поверхности вынимаются из набора и подвергаются очистке.

На основании результатов испытаний, а также опыта длительной эксплуатации охладителей в условиях реального производства установлено, что средний уровень охлаждения молока соответствует расчетному значению и в летнее время года составляет около  $+9$  °С. По отзывам хозяйств — непосредственных производителей молока, предложенные к испытаниям конструкции разработаны с соблюдением правил вакуумной технологии и отвечают всем требованиям, предъявляемым к оборудованию, предназначенному для длительной эксплуатации в условиях летних молочно-товарных ферм. Они надежны, просты в обслуживании, хорошо поддаются очистке, имеют небольшую массу и габариты. Кроме того, их использование позволяет примерно на два часа сократить продолжительность процесса первичной обработки.

Вместе с тем в ходе изготовления и практического использования теплообменников были выявлены некоторые особенности, анализ которых послужил основанием для разработки более перспективной базовой модели моноблочного охладителя.