



УДК 637.11
DOI: 10.53083/1996-4277-2021-205-11-116-122

В.В. Садов, Н.И. Капустин
V.V. Sadov, N.I. Kapustin

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЕСТЕСТВЕННОГО ХЛАДОНОСИТЕЛЯ

AUTOMATED INSTALLATION FOR MILK COOLING USING A NATURAL COOLING AGENT

Ключевые слова: охлаждение молока, основные и промежуточные хладоносители, система непосредственного и косвенного охлаждения, автоматический регулятор прямого действия.

В цепочке от производства молока до реализации производимой из него продукции процесс обеспечения требуемой температуры является основным. Причем для охлаждения молока температура хладоносителя не должна допускать его замерзания. Учитывая то, что процесс охлаждения и хранения молока в охлажденном виде предъявляет жесткие требования к надежности и качеству управления, на фермах в последние годы применяют компрессорные холодильные установки, несмотря на высокие энергозатраты. Анализ технических решений в этом направлении на примере хозяйств Алтайского края и Новосибирской области показал, что в период наибольшего «расцвета» отрасли животноводства широкое распространение находили пленочные – лотковые, распылительные – градирневые, трубные и емкостные установки с использованием естественного хладоносителя. Учет климатических особенностей местности при выборе установок для охлаждения воды в качестве промежуточного хладоносителя позволял существенно снизить энергозатраты на охлаждение молока, особенно в зимний период. Однако сложность управления процессом подготовки промежуточного хладоносителя при непрогнозируемых параметрах внешней среды не позволяла обеспечить высокую надежность и качество ручного управления. Предложено устройство для охлаждения промежуточного хладоносителя основным – естественным холодом в зимний период с автоматическим регулятором прямого действия, обеспечивающим требуемый режим работы охладительной установки. Рассмотрены варианты работы устройства в автоматическом режиме как при понижении, так и повышении температуры наружного воздуха. Автоматизированная установка для

охлаждения промежуточного хладоносителя естественным холодом может быть рекомендована как для ферм КРС, так и перерабатывающих предприятий.

Keywords: milk cooling, main and intermediate cooling agents, direct and indirect cooling system, automatic direct-acting regulator.

In the chain from milk production to the sale of dairy products, the process of ensuring the required temperature is the main one. Moreover, to cool the milk, the temperature of the cooling agent should be above milk freezing. Taking into account the fact that the process of cooling and storing milk in a chilled form imposes strict requirements for reliability and quality of management on farms, compressor refrigeration units have been used in recent years despite high energy consumption. The analysis of technical solutions in this direction by the example of farms of the Altai and Novosibirsk Regions showed that during the greatest boom of the livestock industry, film-tray, spray-cooling tower, and pipe and tank installations using natural cooling agents were widely used. Taking into account the climatic features of the area when choosing water cooling units as an intermediate coolant made it possible to significantly reduce energy consumption for milk cooling especially in winter. However, the complexity of controlling the process of preparing the intermediate coolant with unpredictable environmental parameters did not allow for high reliability and quality of manual control. A device for cooling the intermediate coolant with the main - natural cold in winter with an automatic direct-acting regulator that provides the required operating mode of the cooling unit is proposed. The variants of automatic device operation both when the outdoor air temperature decreases and increases are considered. An automated installation for cooling the intermediate coolant with natural cold may be recommended both for cattle farms and processing enterprises.

Садов Виктор Викторович, д.т.н., ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: sadov.80@mail.ru.

Капустин Николай Игнатьевич, к.т.н., г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: sadov.80@mail.ru.

Sadov Viktor Viktorovich, Dr. Tech. Sci., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: sadov.80@mail.ru.

Kapustin Nikolai Ignatyevich, Cand. Tech. Sci., retiree, Barnaul, Russian Federation, e-mail: sadov.80@mail.ru.

Введение

Молочное скотоводство наиболее сложная из отраслей сельскохозяйственного производства по технологии содержания животных, сбору и хранению продукции. Продукция свиней, цыплят бройлеров – мясо, полученное посредством забоя один раз в несколько месяцев. Продукция кур-несушек – яйцо непрерывное в потоке, но в идеально упакованном виде, пригодном к хранению без подготовки. Доеение коров производится, как минимум, два раза в сутки, с обязательным охлаждением до определенной температуры и последующей транспортировкой на специализированное предприятие по переработке молока. При неуправляемых параметрах окружающей среды, количественном изменении продукции процесс имеет жесткие ограничения по качеству управления температурным режимом в течение длительного времени.

Учитывая, что холодовая обработка молока в настоящее время широко распространена, но в отличие от других способов, таких как химический и электрофизический создается проблема высоких энергозатрат и качества управления. Имеется противоречие: с одной стороны, чем ниже температура, тем длительнее время сохранения качества молока. Оптимально заморозить!? Но это недопустимо по технологическим и техническим условиям, поэтому для снижения температуры молока применяют промежуточный хладоноситель – охлажденную до 4-6°C воду или рассол, что предотвращает замораживание молока. Вода (рассол) охлаждается различными способами, соответственно, и различными основными хладоносителями.

Из основных естественных хладагентов в зимний период может быть наружный воздух, в летний – лед. Искусственные хладоносители производят тепловые или компрессорные установки.

В настоящее время предпочтение в основном отдается механическим или тепловым холодильным установкам вне зависимости от климатических особенностей местности, что ведет не только к повышению энергозатрат, но и снижению надежности функционирования системы охлаждения по причине поломок холодильных

установок. Может возникнуть закономерный вопрос: зачем нужно разрабатывать что-то на основе «старых» технологий и технических решений? Но ответ на этот вопрос дает сама энергетика. Получение энергии от географических и климатических особенностей местности – солнечных батарей, гидро-, ветросиловых установок, гео- и гелеоколлекторов и т.д. Соответственно, с учетом особенностей Алтайского края целесообразно вести разработку энергосберегающих систем охлаждения молока.

Цель работы – повышение эффективности системы охлаждения путем применения автоматического регулирования расходов основного и промежуточного хладоносителя в зависимости от их температуры.

Объекты и методы исследований

Независимо от способа охлаждения в качестве хладоносителя для молока используют преимущественно воду, и теплообмен осуществляется через разделительную твердую стенку. Процесс теплообмена между молоком и жидкостью достаточно глубоко изучен [1-4].

Что привлекает в установках с естественным охлаждением воды посредством теплоотдачи наружного воздуха или льда, а также при фазовых превращениях? Известно, что фазовый переход сопровождается выделением или поглощением энергии. Теплота плавления льда составляет 335 кДж/кг, теплота испарения – 2300 кДж/кг, снижение температуры воды на 1°C требует затрат энергии 4,2 кДж/кг. Учитывая, что для охлаждения молока с 30 до 5°C (перепад температур 25°C) требуется затратить 105 кДж/кг энергии, что соответствует расходу 3 л воды с начальной температурой 5°C. Это позволяет определить годовой запас льда без учета его таяния в льдохранилище. Потери льда за счет сублимации и таяния составляют 30-35%.

В настоящее время на предприятиях по производству молока преимущественно используют компрессорные холодильные установки с различными хладоносителями (аммиак, фреоны и их аналоги) [5]. Это эффективные, но энергозатратные системы. Для снижения установочной

мощности, соответственно, стоимости холодильной установки используют накопительные емкости для промежуточного хладагента – воды. Во многих хозяйствах Алтайского края апробированы системы охлаждения смешанного типа с использованием для охлаждения промежуточного хладагента (вода) в накопительной емкости комбинацией естественных и искусственных способов. Это позволяет существенно снизить энергозатраты на охлаждение молока, но системы усложняются. Наряду с высокой сложностью существенным недостатком комбинированных систем является неуправляемый процесс охлаждения воды естественным способом в зимний период. При понижении температуры наружного воздуха и снижении расхода охлаждаемого промежуточного хладоносителя возможно замерзание последнего как на стадии охлаждения в потоке, так и в накопительной емкости. Намораживание льда в накопительной емкости в определенной мере допустимо, а иногда и необходимо, но не в потоке. В ручном режиме регулировать этот процесс сложно, а простых и надежных автоматических устройств для решения таких задач не разработано.

Охлаждение воды осуществляют в установках, которые можно систематизировать по способу подачи основного хладагента и конструктивному исполнению (табл.).

Емкостная односекционная установка закрытого типа представляет собой емкость установленную как вне здания, так и в стене последнего стационарно или с возможностью перемещения. Охлаждение воды в зимний период в стационарной накопительной емкости регулируют как утеплением ее стенок, так и кожухом с жалюзи, а в мобильной версии – степенью ввода в здание. Емкостные стационарные установки были смонтированы в стенах молочных блоков для 500 коров комплекса крупного рогатого скота павильонной планировки на 1200 гол. ОПХ АНИПТИЖ «Павлозаводской» Алтайского края (АК) и успешно эксплуатировались в зимний период.

Емкостная двухсекционная установка закрытого типа предназначена для охлаждения воды в летний период, преимущественно для летних доильных площадок с ограниченным энергообеспечением. В одну из секций емкости укладывают лед. Разделение на секции посредством

сетки обусловлено недопустимостью попадания соломы от льда в циркулируемую воду, так как лед обычно хранится под слоем соломы. Такого типа установка несколько лет эксплуатировалась на летней доильной площадке в ОПХ АНИИЗИС «Комсомольское» Павловского района АК.

Испытание установки для охлаждения воды атмосферным воздухом в виде двух соединенных между собой емкостей, одна из которых находится в помещении, а другая – вне помещения, положительных результатов не дало. Конструктивное решение простое, но материалоемкое при низкой эксплуатационной надежности в виду непрогнозируемого обмерзания емкости вне помещения.

В ступенчатой емкостно-лотковой установке открытого типа, состоящей из нескольких последовательно расположенных на разных уровнях емкостей с лотками, обеспечивается свободный переток жидкости по перфорированным лоткам над участке прохода над емкостями. Хладопроизводительность регулируется количеством используемых ступеней. Такого типа установка была применена в совхозе «Ульяновский» Топчихинского района АК. В зимний период она обеспечивала охлаждение воды для накопительной емкости, стоящей в помещении для охлаждения молока в моноблоке на 800 коров. В летний период являлась первой ступенью охлаждения воды для градирни в системе охлаждения компрессорного холодильника. Перфорация в лотках создает течение потока хладоносителя с отрывом на участке перфорации, что не позволяет провести удовлетворительный теоретический расчет процесса. В емкости возникает свободная конвекция вследствие разности плотности воды в различных точках объема [6]. В поле силы тяжести более легкие слои поднимаются вверх вдоль боковых стенок, а на их место поступает более холодная вода. Около поверхности возникает непрерывное движение воды, скорость которой зависит от интенсивности конвективного теплообмена поверхности с основной массой. Режим циркуляции может быть как ламинарным, так и турбулентным. Он определяется как внешними, так и внутренними условиями (температура наружного воздуха, вязкость среды, геометрия емкости и т.д.).

Установки для охлаждения промежуточного хладоносителя

Тип	Схема	Достоинства	Недостатки
Емкостная закрытого типа односекционная		Простота конструкции, малая материалоемкость	Низкая производительность, низкое качество регулирования
Емкостная закрытого типа двухсекционная		Простота конструкции	Низкая производительность, сложность эксплуатации
Струйная, емкостно-лотковая открытого типа ступенчатая		Простота конструкции, возможность регулирования	Низкое качество регулирования, высокая материалоемкость и габариты
Распылительная (градирня)		Простота конструкции	Сложность эксплуатации, высокая материалоемкость и габариты
Трубная - геokolлектор в грунте; - орошаемая; - обдуваемая воздухом		Простота конструкции	Сложность эксплуатации, низкая надежность
Замороженная		Простота конструкции	Сложность эксплуатации, высокая материалоемкость и габариты

Трубные закрытые прямого действия одно- или многотрубные, вне зависимости от их пространственной ориентации обдуваемые или

орошаемые установки, а также расположенные в грунте разрабатывались в Новосибирском СХИ под руководством М.Н. Мефодьева. Им

разработаны оригинальные льдохранилища, снабженные хладогенераторами с внутренней полостью прямого действия открытого и закрытого типа, со стационарным или мобильным теплообменником. Сравнительные испытания стационарных и мобильных теплообменников и тепловых насосов, проведенные в с. Медведское Черепановского района Новосибирской области, показали, что наиболее перспективны установки с мобильным тепловым насосом.

Все рассмотренные выше установки более эффективны в зимний период, так как охлаждение воды происходит только теплоотдачей от наружного воздуха к стенке емкости, а от последней к воде, это примитивный теплообменник с низким КПД.

В настоящее время находят применение установки с охлаждением воды воздухом в башнях, заполненных специальными инертными элементами повышающими эффект испарения воды (градирни). Этот тип установок эффективен в течение всего года. Однако в зимний период процесс регулирования имеет определенные сложности по причине замерзания воды в любой точке вне помещения, что требует непрерывного визуального контроля.

При незначительном расходе промежуточного хладагента на современных фермах применяют многотрубный обдуваемый теплообменник. Пример такого технического решения имеется на первой роботизированной ферме в АК с

роботом-доярком Delaval VMS в с. Фунтики Топчихинского района (рис. 1).

Представленные способы охлаждения дают различный результат по скорости охлаждения продукта (рис. 2).

Представленные способы охлаждения, соответствующие зависимостям 1 и 2 (рис. 2), наиболее подходящие для охлаждения молока и длительного сохранения его свойств.

Проведенный анализ показывает, что повысить эффективность работы установок для охлаждения молока с основным естественным хладоносителем возможно при повышении качества управления режимом работы с применением автоматического регулирования [8].

Предлагаемая установка для охлаждения молока с использованием естественного холода представлена на рисунке 3 [9].

Установка состоит из аккумулятора холода, находящегося вне помещения в закрытом отсеке в виде емкости с водой, трубопровода, насоса с теплообменником и охладителем молока. При включении насоса вода по трубопроводу поступает в теплообменник, охлаждая молоко в охладителе, и по гибкому патрубку вытекает в перфорированный поддон, а затем по стержням стекает в емкость. При недостаточном охлаждении воды в аккумулятор холода помещаем лед с защитой от попадания в воду посторонних примесей.



Рис. 1. Компрессорный агрегат танка-охладителя робота-дойера Delaval VMS в с. Фунтики

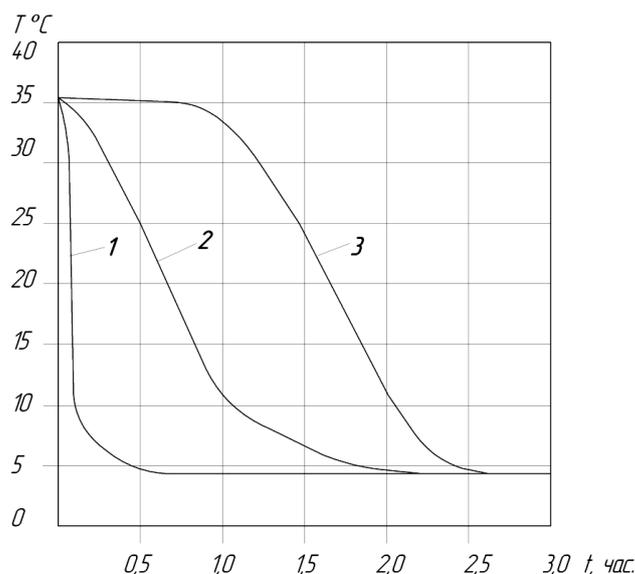


Рис. 2. Сравнение эффективности различных способов охлаждения молока (данные компании РАСКО) [7]:

- 1 – охлаждение в танках-охладителях с аккумулятором льда и подключенным теплообменником для первичного охлаждения молока;
- 2 – охлаждение в танках-охладителях с аккумулятором льда;
- 3 – охлаждение молока в танках-охладителях с испарителями непосредственного действия (кривая дана с учетом задержки включения компрессорного агрегата при первичном заполнении танка теплым молоком)

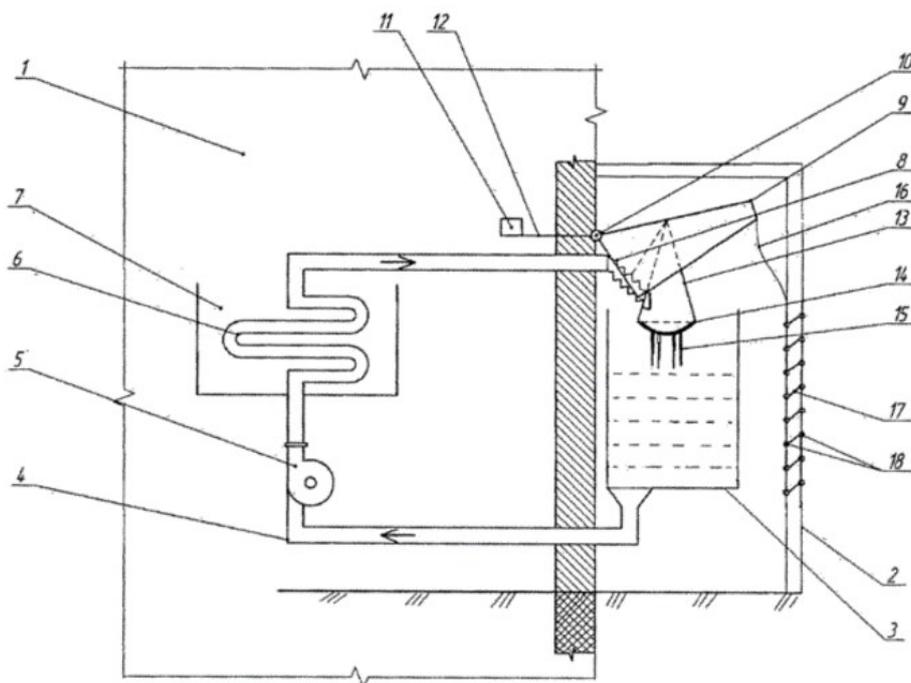


Рис. 3. Схема установки для охлаждения молока

Работу установки условно можно представить в нескольких вариантах:

1. При температуре окружающего воздуха, недостаточной для замерзания воды на стержнях, жалюзи находятся в открытом состоянии, что обеспечивает доступ наружного воздуха к стенкам емкости, увеличивая этим эффективность охлаждения воды.

2. При температуре наружного воздуха, достаточной для образования льда на стержнях, они опускаются в воду. Жалюзи приоткрыты.

3. На поверхности воды достаточная масса льда. Жалюзи закрываются, прекращая тем самым доступ наружного воздуха к стенкам емкости.

4. Температура наружного воздуха и, соответственно, воды в районе охладителя молока повышается, что приводит к таянию льда на стержнях. Жалюзи открывают, увеличивая доступ наружного воздуха ко всем участкам охлаждения воды.

Выводы

1. В зимний период снижение энергозатрат на охлаждение молока на ферме можно достигнуть при использовании естественного хладоносителя.

2. Применение комбинированных установок для охлаждения промежуточного хладоносителя с автоматическим регулированием расхода основного хладагента позволит повысить эффективность работы систем охлаждения молока.

Библиографический список

1. Теплотехнический справочник Т. 1 / под редакцией В. Н. Юренева и П. Д. Лебедева. – Изд. 2-е, перераб. – Москва: Энергия, 1975. – 744 с. – Текст: непосредственный.

2. Вестник Международной академии холода: [сайт]. – URL: <https://vestnikmax.ifmo.ru>. – Текст: электронный.

3. Федоренко, И. Я. Переработка сельскохозяйственного сырья на малогабаритном оборудовании: учебное пособие / И. Я. Федоренко, С. В. Золотарев. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 1998. – 317 с. – Текст: непосредственный.

4. Оборудование для доения коров и первичной обработки молока: учебное пособие / И. Я. Федоренко [и др.]. – Барнаул, 2005. – 235 с. – Текст: непосредственный.

5. Машины и аппараты пищевых производств: учебник для вузов: в 2 книгах. Кн. 2 / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков [и др.]; под редакцией академика РАСХН В. А. Панфилова. – Москва: Высшая школа, 2001. – 703 с. – Текст: непосредственный.

6. Консервирование пищевых продуктов холодом (теплофизические основы): учебное пособие / И. А. Рогов, В. Е. Куцакова, В. И. Филиппов [и др.]. – Колос, 1999. – 169 с. – Текст: непосредственный.

7. Научно-производственная фирма «РАСКО»: [сайт] – URL: <https://pasko.ru> (дата обращения: 10.09.2021). – Текст: электронный.

8. Al-Zgoul B., Frehat M., Radaedeh J., Matarneh M. (2010). Refrigeration supply of milk plants on base of automated water cooling machines. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 3: 18-22.

9. Патент РФ № 2552 409 С. А01J 9/04. Установка для охлаждения молока / Капустин Н. И., Лобанов В. И., Русляков И. С. [и др.]. – Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО АГАУ. – Заявка № 2014111444/13 от 25. 03. 2014; опубл. 10. 06. 2015. Бюл. № 16. – Текст: непосредственный.

References

1. Teplotekhnicheskii spravochnik. – izd. 2-e, pererab. / pod red. V.N. Iureneva i P.D. Lebedeva. T. 1. – Moskva, «Energija», 1975. – 744 s.

2. Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda [sait] <https://vestnikmax.ifmo.ru>.

3. Fedorenko I.Ia., Zolotarev S.V. Pererabotka selskokhoziaistvennogo syria na malogabaritnom oborudovanii: uchebn. posobie. – Barnaul: Izd-vo Alt. un-ta, 1998. – 317 s.

4. Oborudovanie dlia doeniia korov i pervichnoi obrabotki moloka: uch. posobie / I.Ia. Fedorenko [i dr.]. – Barnaul, 2005. – 235 s.

5. Mashiny i apparaty pishchevykh proizvodstv. V 2 kn. Kn. 2: uchebn. dlia vuzov / S.T. Antipov, I.T. Kretov, A.N. Ostrikov i dr.; pod red. akad. RASKhN V.A. Panfilova. – Moskva: Vyssh. shk., 2001. – 703 s.

6. Konservirovanie pishchevykh produktov kholodom (teplofizicheskie osnovy) / I.A. Rogov, V.E. Kutsakova, V.I. Fillipov, i dr.: uchebn. posobie. – Moskva: Kolos, 1999. – 169 s.

7. Nauchno-proizvodstvennaia firma «RASKO» [sait] – URL: <https://pasko.ru> (data obrashcheniia 10.09.2021).

8. Al-Zgoul B., Frehat M., Radaedeh J., Matarneh M. (2010). Refrigeration supply of milk plants on base of automated water cooling machines. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 3: 18-22.

9. Patent RF No. 2552 409 S. A01J 9/04. Ustanovka dlia okhlazhdeniia moloka / N.I. Kapustin, V.I. Lobanov, I.S. Rusliakov i dr. Zaiavitel i patentoobladatel FGBOU VPO AGAU. – Zaiavka No. 2014111444/13 ot 25.03.2014; opubl. 10.06.2015. Biul. No. 16.

