

**АНАЛИЗ ПУТЕЙ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ПАСТЕРИЗАЦИИ
НА МАЛЫХ МОЛОЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**
**Study the possibility of reducing energy consumption
during the pasteurization of milk on small enterprises**

Л. А. Минухин, профессор, доктор технических наук,
Уральский государственный аграрный университет

(г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42),

В. В. Гаффнер, главный инженер,

Г. А. Меньшенин, инженер

Пышминского молочного завода

(п. Пышма, ул. Ленина, д. 257)

Рецензент: Г. Б. Пищиков, доктор технических наук, профессор

Аннотация

Рассматривается возможность снижения энергозатрат на пастеризацию молока путем использования более рациональной схемы пастеризации, предусматривающей обеспечение регенерации теплоты. Показано, что основными путями снижения затрат энергии на пастеризацию является: регенерация теплоты горячего пастеризованного молока холодным исходным потоком; использование внешнего теплоносителя только для высоко температурного пастеризационного нагрева; предотвращение проскока греющего пара в паровых подогревателях и использование ледяной воды только для низкотемпературного охлаждения молока. Проведены численные исследования затрат энергии на пастеризацию по двум предельным случаям организации процесса: без использования регенерации теплоты и с использованием этого процесса. Названные выводы подтверждены численным анализом. Результаты исследований показали, что расход энергии для этих двух предельных случаев существенно различается, при этом схемы с использованием регенерации позволяют снизить затраты тепловой энергии на пастеризацию до 8 раз. Здесь же показано, что заметное снижение расходов энергии обеспечивает запорное устройство на линии отвода конденсата греющего пара ТЭЦ или котельной. Полученные рекомендации могут быть эффективно использованы предприятиями, осуществляющими переработку молока. Показано, что аналогичный подход может быть использован для разработки регенерационных схем с целью сокращения затрат на охлаждение технологических потоков. Использование такого подхода позволило установить, что регенерационные схемы на линии охлаждающей воды могут снизить затраты холодильного агента в три-четыре раза и при этом уменьшить, а в ряде случаев – исключить сбор технологических стоков в канализации.

Ключевые слова: пастеризация, расход воды, пластинчатый пастеризатор, расход пара, затраты на охлаждение.

Summary

The possibility of reducing energy consumption for the pasteurization of milk by the use of more rational scheme of pasteurization, provides for the recovery of heat. It is shown that the main ways to reduce energy costs is pasteurization: regeneration heat hot pasteurized milk cold feed stream; use of an external heat transfer medium only for high-temperature pasteurization, heating; prevent leakage of heating steam in the steam heater and use only cold water to lower the temperature of cooling milk. Numerical study of energy consumption in the pasteurization limit two cases, the organization of the process: without the use of heat recovery and the use of this process. The above conclusions are confirmed by numerical analysis. The results of this study showed that the energy consumption for these two extreme cases varies considerably, with the

scheme with the use of regeneration, reduces the cost of thermal energy in the pasteurization up to 8 times. It also shows that a significant reduction in energy costs provide closure at the condensate drain line heating steam boiler or heat electro station. These recommendations can be effectively used by enterprises engaged in processing milk. It is shown that a similar approach can be used for the development of regeneration circuits to reduce the cost of cooling the process streams. This approach revealed that regeneration schemes in the cooling water line will help reduce the cost of the refrigerant in three - four times and thus reduce, and in some cases eliminate the collection of effluents in the sewage.

Keywords: pasteurization, water flow, plate pasteurizer, steam consumption, cooling costs.

Цель исследования – выявить существующих схем пастеризации, выявить их недостатки и возможные пути снижения энергозатрат при пастеризации.

Как известно [1], процесс пастеризации заключается в нагревании молока до 60–70 °С и более, а также выдержке нагретого молока в зависимости от его температуры от 2 с до 30 мин. с целью уничтожения болезнетворных бактерий, которые могут присутствовать в исходном молоке. Первоначально пастеризация была предложена для уничтожения туберкулезной палочки (*Mycobacterium tuberculosis*), которая нередко содержалась в молоке. В настоящее время технология фермерского производства молока практически исключает возможность существования в нем туберкулезной палочки, но молоко продолжают пастеризовать с целью нейтрализации других видов бактерий, опасных для здоровья людей.

В статье рассматриваются возможности снижения энергозатрат при пастеризации молока методом регенерации теплоты горячего пастеризованного молока потоками поступающих сред. В современной молочной промышленности используются три метода пастеризации: объемная (низкотемпературная и долговременная) пастеризация, высокотемпературная пастеризация и сверхвысокотемпературная пастеризация.

Низкотемпературная пастеризация проводится в чане или цистерне, где весь объем молока нагревается до температуры не ниже 63 °С и выдерживается при ней в течение 30 мин. Высокотемпературная пастеризация проводится при температуре 75–90 °С соответственно в течение 30–10 с. Сверхвысокотемпературная пастеризация проводится в течение 2 с при температуре 138 °С с получением ультрапастеризованного молока.

Длительная низкая пастеризация при 63 °С за 30 мин. дает вполне положительные результаты в отношении обеззараживания молока от болезнетворных микроорганизмов. Однако опытами установлено, что молоко после такой тепловой обработки может оказаться необеззараженным во всем своем объеме [2].

В двух других методах прогревается поток молока, пропускаемый через трубчатый или пластинчатый пастеризатор; в обоих случаях поток молока интенсивно перемешивается, чем и достигается пастеризация молока по всему объему.

Наибольшее распространение получил метод высокотемпературной кратковременной пастеризации с использованием чаще пластинчатого и реже трубчатого пастеризатора. В таких пастеризаторах поток молока движется между пластинами из нержавеющей стали или внутри трубок, которые с другой стороны стенок теплообменных элементов нагреваются горячей водой [3]. Регулированием расхода молока через пастеризатор гарантируется удовлетворительная пастеризация продукта.

Продукт сверхвысокотемпературной пастеризации (молоко, сливки) обладает возможностью наиболее длительного хранения – до 3 месяцев без охлаждения.

Первичным энергоносителем при пастеризации молока, как правило, является греющий водяной пар, который вырабатывается на малых предприятиях в котельных, также для этого

используется пар стационарных ТЭЦ. При этом нагрев молока обеспечивается промежуточным теплоносителем – водой, которая нагревается до нужных температур (примерно на 6–8 °С выше температуры пастеризации молока) первичным теплоносителем.

При оценке экономичности процесса пастеризации молока основным показателем являются затраты внешней тепловой энергии на единицу массы готового продукта – охлажденного пастеризованного молока с температурой 4 °С. В настоящей работе для выявления интервалов изменения этого важного параметра было проведено численное исследование значения данного показателя для предельных случаев: для условий, когда схема производственной пастеризации молока спроектирована без учета требований регенерации тепловой энергии производственных потоков, и для условий, когда регенерация тепловой энергии предусматривается в полном объеме.

Схема участка пастеризации по первому из названных условия представлена на рис. 1. Схема участка пастеризации включает секцию пастеризации молока А, секцию нагрева промежуточного теплоносителя – воды Г, секцию охлаждения пастеризованного молока Б, аккумулятор льда В.

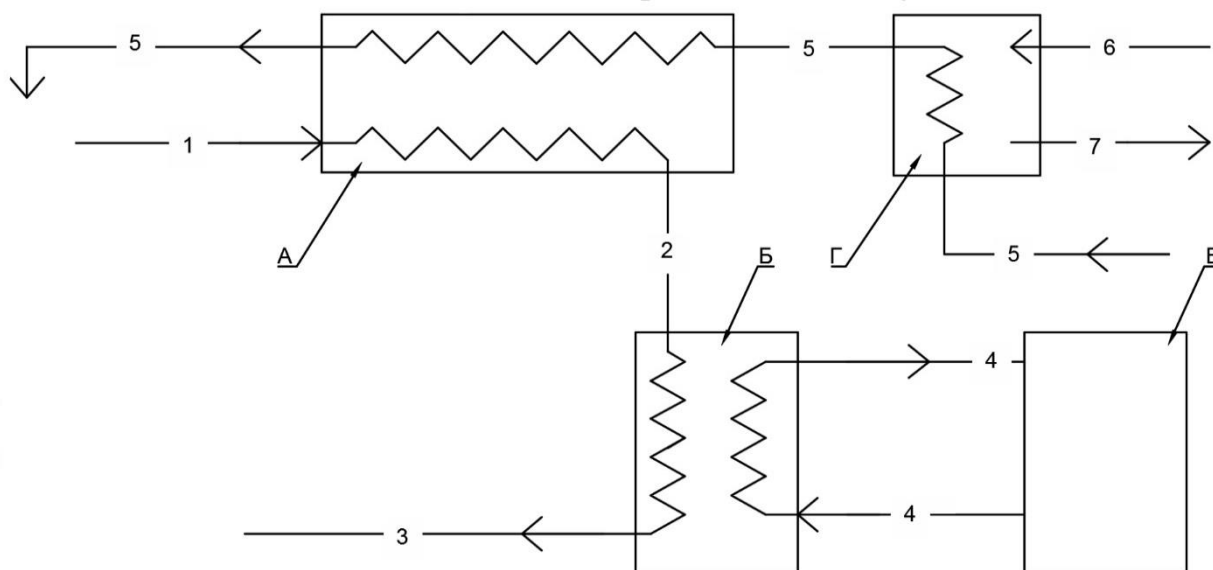


Рис. 1. Схема участка пастеризации молока без регенерации тепловой энергии технологических потоков. Оборудование: А – секция пастеризации, Б – секция охлаждения, В – аккумулятор льда, Г – секция нагрева воды. Трубопроводы: 1 – сырое не пастеризованное молоко, 2 – пастеризованное молоко, 3 – охлажденное пастеризованное молоко, 4 – охлаждающая ледяная вода, 5 – промежуточный теплоноситель – вода, 6 – греющий пар, 7 – конденсат греющего пара

Работа участка, представленного на рис. 1, осуществляется следующим образом. Исходное непастеризованное молоко с температурой 5 °С поступает по трубопроводу 1 в секцию пастеризации А, где нагревается до температуры 80 °С и при этой температуре пастеризуется. Далее пастеризованное молоко по трубопроводу 2 поступает в секцию охлаждения Б, где охлаждается до 4 °С ледяной водой, поступающей по трубопроводу 4 и имеющей температуру 2–3 °С. Получение ледяной воды происходит в аккумуляторе льда В. Охлажденное пастеризованное молоко в качестве готового продукта пастеризации по трубопроводу 3 подается на дальнейшие операции (отправка потребителю, переработка на другие молочные продукты). Промежуточный теплоноситель – вода температурой 10 °С по трубопроводу 5 поступает в секцию нагрева воды Г, где нагревается греющим паром до температуры 90 °С и подается в секцию пастеризации А, где передает полученную теплоту сырому молоку. После чего вода

температурой 20 °С сбрасывается в канализацию. Греющий пар подается по трубопроводу 6, а конденсат греющего пара отводится по трубопроводу 7.

Затраты теплоты на пастеризацию в этом случае определяются затратами тепловой энергии на нагрев промежуточного теплоносителя (1) и затратами энергии на получение ледяной воды (2).

$$Q_{\text{нагрева}} = G_{\text{п.т.}} \times c_{\text{п.т.}} \times (t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}), \quad (1)$$

$$Q_{\text{охл.}} = \alpha G_{\text{в.}} \times c_{\text{в.}} \times (t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}}), \quad (2)$$

где $Q_{\text{нагрева}}$ – количество теплоты необходимое для нагрева промежуточного теплоносителя, $G_{\text{п.т.}}$ – расход промежуточного теплоносителя, $c_{\text{п.т.}}$ – теплоемкость промежуточного теплоносителя, $t_{\text{кон}}$ – конечная температура промежуточного теплоносителя, $t_{\text{нач}}$ – начальная температура промежуточного теплоносителя, $Q_{\text{охл.}}$ – количество теплоты, необходимое для получения ледяной воды, α – эмпирический коэффициент, учитывающий затраты энергии на охлаждение хладоносителя, $G_{\text{в.}}$ – расход охлаждающей воды, $c_{\text{в.}}$ – теплоемкость воды, $t_{\text{нач}}$ – начальная температура воды, $t_{\text{кон}}$ – конечная температура воды.

Затраты на получение ледяной воды, циркулирующей в системе охлаждения, определялись на основе соотношения $Q_{\text{охл.}}$, где α – эмпирический коэффициент, учитывающий затраты энергии на охлаждение хладоносителя. Для большинства производств, где в качестве холодильной установки используется аккумулятор льда, этот коэффициент может быть приблизительно равным 0,7 [4].

Схема участка пастеризации, где предусмотрена регенерация теплоты уходящего молока, использование промежуточного теплоносителя только в головной секции пастеризации и использование ледяной воды для доохлаждения предварительно охлажденного пастеризованного молока, представлена на рис. 2. Таким образом, в этой схеме предусмотрена дополнительная секция регенерации теплоты.

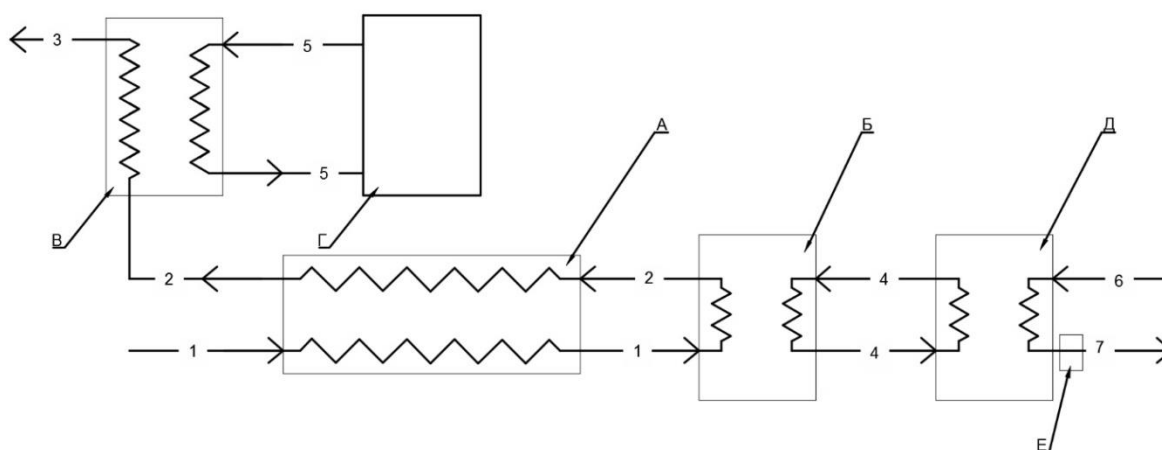


Рис. 2. Схема участка пастеризации молока с использованием мероприятия по регенерации тепловой энергии. Оборудование: А – секция регенерации, Б – секция пастеризации, В – секция водяного охлаждения, Г – аккумулятор льда, Д – секция нагрева воды, Е – конденсатный горшок. Трубопроводы: 1 – сырое не пастеризованное молоко, 2 – пастеризованное молоко, 3 – охлажденное молоко, 4 – греющая вода, 5 – охлаждающая вода, 6 – греющий пар, 7 – конденсат греющего пара

Такая установка, содержащая развитую схему регенерации теплоты, работает следующим образом. Сырое непастеризованное молоко температурой 5 °С по трубопроводу 1 поступает в секцию регенерации А, где нагревается до 70 °С, после чего подается в секцию пастеризации Б. В секции пастеризации Б молоко нагревается до 80 °С и, следовательно, пастеризуется за счет теплоты промежуточного теплоносителя – горячей водой с температурой 90 °С, поступающей по трубопроводу 4. Пастеризованное молоко из этой секции отводится по трубопроводу 2 в секцию регенерации А, проходя по которой, отдает часть тепла сырому исходному молоку. Из секции регенерации А пастеризованное предварительно охлажденное молоко поступает в секцию водяного охлаждения В, где охлаждается ледяной водой температурой от 30 °С до 4–5 °С. Вода, используемая для охлаждения молока, подается в секцию водяного охлаждения В и отводится по трубопроводу 5 в холодильную установку Г, где охлаждается хладагентом. Охлажденное пастеризованное молоко температурой 4–5 °С в качестве готового продукта пастеризации по трубопроводу 3 подается на дальнейшие операции (отправка потребителю, переработка на другие молочные продукты). Греющий пар по трубопроводу 6 подается в секцию нагрева воды Д, где нагревает промежуточный теплоноситель – воду от 80 °С до 90 °С. Конденсат греющего пара отводится по трубопроводу 7 через конденсатный горшок Е.

Использование теплоты в секции регенерации, которую имеет продукт после секции пастеризации, для подогревания продукта, который поступает, значительно сокращает затраты теплоты на пастеризацию и затрату охлаждающей воды. Анализ показывает, что при создании участков пастеризации по ряду различных причин не всегда используются схемы с максимальной регенерацией теплоты. Этот недостаток проектирования приводит к значительному перерасходу энергии.

Результаты исследований. Приведенные схемы были рассмотрены с позиции затрат тепловой энергии на пастеризацию. Были проведены численные исследования, результаты которых отображены на рис. 3 и 4. При этом на рис. 3 показаны затраты энергии на процесс пастеризации сравниваемых схем, а на рис. 4 – данные, показывающие увеличение сброса воды в канализацию без учета промывочных вод.

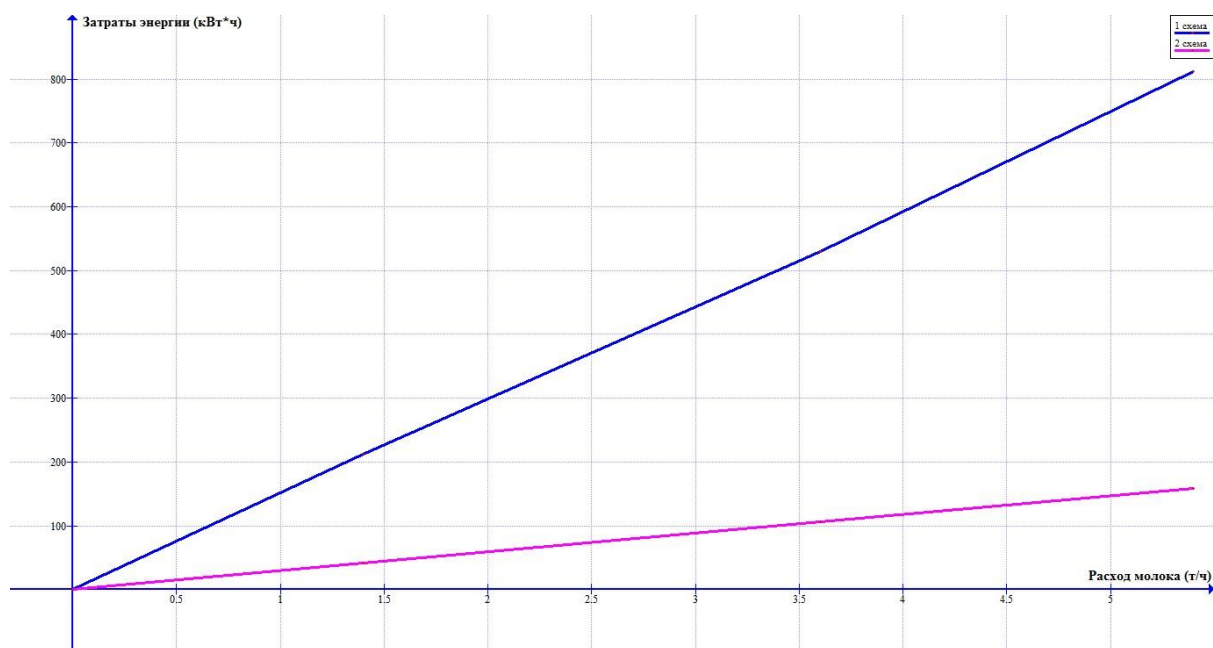


Рис. 3. Зависимость затрат тепловой энергии от расхода молока

Из графика видно, что с увеличением производительности затраты энергии с применением схемы, использующей регенерацию теплоты, ниже почти до 8 раз.

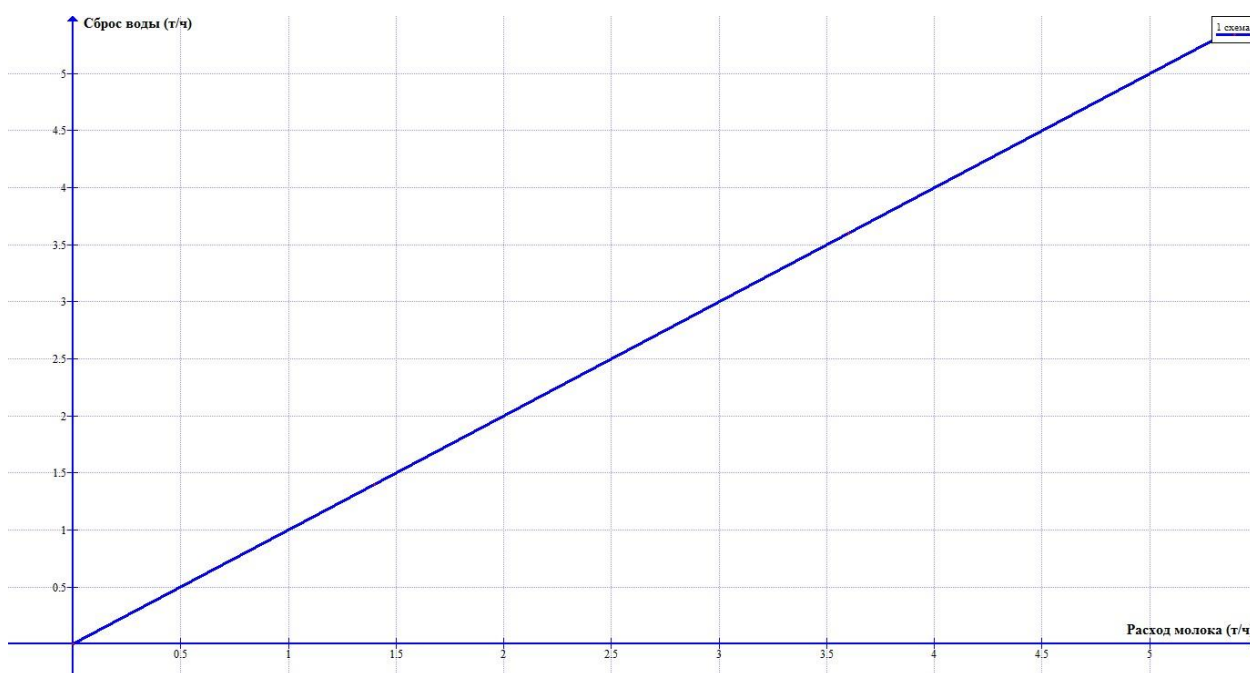


Рис. 4. Увеличение сброса воды в канализацию

На рис. 4 не указаны данные по второй схеме, так как промежуточный теплоноситель в этом случае находится в замкнутом контуре, и в канализацию происходит сброс только промывочных вод.

Выводы.

1. Использование схемы регенерации теплоты при нагреве пастеризуемого молока позволяет значительно снизить затраты энергии на проведение этого процесса.
2. Использование регенерации теплоты в системах получения ледяной воды обеспечивает снижение затрат энергопотребления холодильных установок и значительно сокращает объем сброса в канализацию.

Библиографический список

1. Сурков В. Д., Липатов Н. Н., Золотин Ю. П. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Легкая и пищевая промышленность, 1983. 432 с.
2. URL : http://polybum.ru/milk/sistemi_pasterizatorov_i_principi_ih_raboti.
3. Минухин Л. А. Расчеты сложных процессов тепло- и массообмена в аппаратах пищевой промышленности. М. : Агропромиздат, 1986. 175 с.
4. Бабакин Б. С., Тихонов Б. С., Юрчинский Ю. М. Совершенствование холодильной техники и технологии (на примере предприятий мясной и молочной промышленности). М. : Галактика-ИГМ, 1992. 175 с.
5. Барановский Н. В. Пастеризаторы для молока и сливок. 2-е изд., перераб. М. : Пищепромиздат, 1959.
6. Сурков В. Д., Липатов Н. Н., Золотин Ю. П. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Легкая и пищевая промышленность, 1983. 432 с.

7. Теплотехнический справочник / под общ. ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. 2-е изд., перераб. М. : Энергия, 1976. Т. 2. 896 с.
8. *Хазанов Е. Е.* Технология и механизация молочного животноводства : учеб. пособие. М. : Лань, 2010. 352 с.
9. *Бредихин С. А.* Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности : учеб. пособие для вузов. М. : КолосС, 2010. 408 с.
10. *Голубева Л. В., Пономарев А. Н.* Современные технологии и оборудование для производства питьевого молока. М. : ДеЛи принт, 2004. 179 с.
11. *Лоретц О. Г., Барашкин М. И.* Повышение качества молока-сырья с использованием принципов ХАССП // Аграрный вестник Урала. 2012. № 8. С. 41–42.