

УДК 637.1.023

***АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ РЕГУЛЯТОРОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ
ПАСТЕРИЗАЦИОННЫХ УСТАНОВОК МОЛОКА И ОБОСНОВАНИЕ
ПУТЕЙ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ***

Селиверстов М.В.

старший преподаватель

Алтайский государственный аграрный университет

Россия, г. Барнаул

Агеева У. Ю.

студентка

Алтайский государственный аграрный университет

Россия, г. Барнаул

Аннотация. В статье обоснована актуальность точного поддержания температурного режима пастеризации молока как критического фактора качества и безопасности продукции. Проведен обзор современных методов регулирования температуры, включая механические регуляторы прямого действия и автоматизированные системы на базе ПЛК. Выполнен сравнительный анализ патентных конструкций механических регуляторов температуры для пастеризаторов, в том числе по патентам РФ №145587, №2269152 и №2316037. Выявлены их достоинства и недостатки, определены критерии выбора оптимальной конструкции. Предложены направления совершенствования регулятора на базе патента №2316037, включая модернизацию пружинного узла, уплотнений и адаптацию к работе в составе АСУ ТП.

Ключевые слова: пастеризация молока, регулятор температуры, патентный анализ, термобаллон, переключающий клапан, программируемый логический контроллер (ПЛК), пастеризационная установка.

***ANALYSIS OF TEMPERATURE REGULATOR DESIGN FOR MILK
PASTEURIZATION UNITS AND SUBSTANTIATION OF IMPROVEMENT
WAYS***

Seliverstov M.V.

Senior Lecturer

Altai State Agrarian University

Russia, Barnaul

Ageeva U.Yu.

Student

Altai State Agrarian University

Russia, Barnaul

Abstract.

This article substantiates the importance of precisely maintaining the temperature regime for milk pasteurization as a critical factor in product quality and safety. A review of modern temperature control methods is provided, including direct-acting mechanical regulators and automated PLC-based systems. A comparative analysis of patented designs of mechanical temperature regulators for pasteurizers is also provided, including those under Russian Federation Patents No. 145587, No. 2269152, and No. 2316037. Their advantages and disadvantages are identified, and criteria for selecting the optimal design are defined. Options for improving the controller based on patent No. 2316037 are proposed, including modernization of the spring assembly and seals, and adaptation for operation within an automated process control system.

Keywords: milk pasteurization, temperature controller, patent analysis, temperature bulb, changeover valve, programmable logic controller (PLC), pasteurization unit.

молочной промышленности, обеспечивающей микробиологическую безопасность и сохранность молочных продуктов [21]. В зависимости от режима обработки различают три основных способа пастеризации: длительную (63–65 °С, выдержка 30 минут), кратковременную (72–75 °С, выдержка 15–20 секунд) и высокотемпературную (85–90 °С без выдержки) [3]. От правильности выбора и стабильности поддержания этих параметров напрямую зависят такие показатели готового продукта, как сохранность полезных свойств, вкусовые качества, цвет, запах и срок годности.

Однако, как показывает практика, традиционные системы управления пастеризаторами, основанные на использовании мембранных клапанов и ручном регулировании, не обеспечивают достаточной точности поддержания температурного режима [3]. Это приводит к нестабильности процесса, риску перегрева или недогрева продукта и, как следствие, к снижению качества готовой продукции и дополнительным энергетическим затратам.

Целью данной работы является анализ существующих конструкций регуляторов температуры для пастеризационных установок молока, выявление наиболее эффективных технических решений и обоснование путей их совершенствования с учётом современных требований к точности, надёжности и экономической эффективности.

Задачи исследования:

1. Провести классификацию и обзор современных методов регулирования температуры в пастеризаторах.
2. Выполнить детальный анализ патентных конструкций механических регуляторов температуры.
3. Выявить достоинства и недостатки рассмотренных конструкций, определить критерии их сравнительной оценки.
4. Предложить направления совершенствования наиболее перспективной конструкции.
5. Дать экономическую оценку эффективности предлагаемых решений.

Современные системы регулирования температуры в пастеризаторах можно классифицировать на две основные группы: механические регуляторы прямого действия и автоматизированные системы с обратной связью на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК) [5; 9; 10].

В настоящее время на молокоперерабатывающих предприятиях все более широкое распространение получают автоматизированные системы управления, построенные на основе ПЛК [1; 6]. Такие системы, как правило, включают в себя контроллер, принимающий сигналы от термодатчиков (термопар или термометров сопротивления), и исполнительное устройство (электрический актуатор, управляющий клапаном возврата продукта). Контроллер в автоматическом режиме управляет нагревом, выдержкой и охлаждением продукта, что существенно снижает риск ошибок и порчи.

Современные промышленные контроллеры, например, производства ОВЕН (модели ПЛК-73, ПЛК-110), обеспечивают широкие возможности: индикацию температуры, объема и уровня молока в емкостях, управление насосами-мешалками в ручном и автоматическом режимах, а также дистанционное управление по сети RS-485 [6]. На экране панели оператора отображается полная визуализация процесса, а электронный самописец фиксирует температуру пастеризации на всех этапах.

Преимущества автоматизированных систем — высокая точность поддержания заданных параметров, возможность архивации данных и интеграции в общую систему управления предприятием [1; 6]. Однако они требуют квалифицированного обслуживания и имеют относительно высокую стоимость, что делает их применение не всегда экономически оправданным для малых и средних предприятий.

Механические регуляторы температуры прямого действия (термостатические клапаны) представляют собой автономные устройства, не требующие внешнего источника энергии. Их принцип действия основан на использовании термобаллона, заполненного термочувствительной жидкостью, которая при

Дневник науки | www.dnevnika.ru | СМН ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

изменении температуры расширяется или сжимается, воздействуя через сильфон или поршень на запорный орган [5; 9]. К достоинствам таких регуляторов относятся простота конструкции, высокая надежность, низкая стоимость и возможность эксплуатации в полевых условиях. Именно эта группа устройств представляет наибольший интерес для дальнейшего анализа и совершенствования применительно к пастеризационным установкам средней и малой производительности.

На основе анализа патентной информации (патенты РФ №145587, №2269152, №2316037) были выделены три основные конструкции регуляторов температуры, предназначенные для работы с циркулирующими средами, включая пастеризаторы [4; 7].

Регулятор температуры патент РФ №145587 [4]

Данная конструкция, разработанная Г.Б. Галиевым, является наиболее ранней из рассматриваемых. Регулятор содержит корпус с трубопроводами для подвода и отвода воды, размещенный в корпусе цилиндр с поршнем запорного устройства, седло, встроенное в корпус, а также термобаллон с рабочей жидкостью, сообщенный с надпоршневой полостью запорного устройства [4].

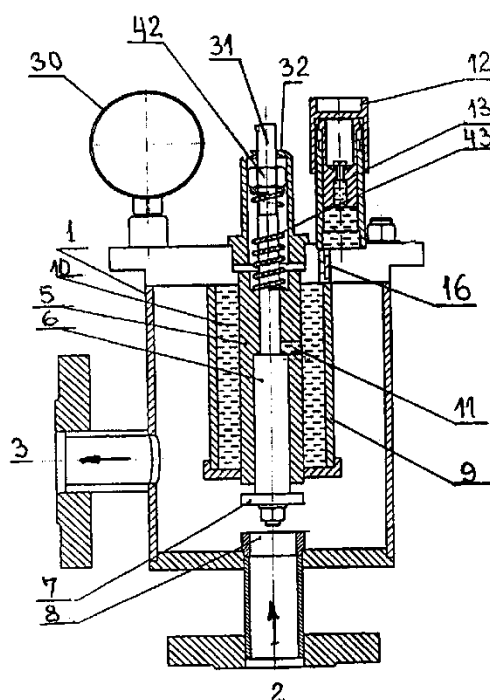


Рисунок 1 – Регулятор температуры по патенту РФ №145587 [4]

1 – корпус; 2, 3 – трубопроводы для подвода воды; 4 – трубопроводы для отвода воды; 5 – цилиндр; 6 – поршень запорного устройства; 7 – клапан в виде диска; 8 – седло; 9 – термобаллон; 10 – рабочая жидкость; 11, 16 – каналы; 12 – регулятор давления; 13 – силовой цилиндр; 14 – регулировочный поршень; 15 – нагнетательная полость; 30 – манометр; 31 – верхний конец штока; 32 – кожух; 43 – возвратная пружина.

К основным недостаткам этой конструкции следует отнести:

- отсутствие встроенной защиты термосистемы от перегрева;
- относительно низкую надежность при длительной эксплуатации в условиях переменных тепловых нагрузок;
- усложненный доступ к регулировочным элементам при техническом обслуживании.

Регулятор температуры патент РФ №2269152 [7]

Конструкция, разработанная В.А. Питателевым и А.И. Свяжиным, представляет собой дальнейшее развитие регулирующих устройств. Регулятор содержит корпус, запорный орган с клапаном, термосистему с термобаллоном и устройство защиты термосистемы от перегрева. Устройство защиты выполнено в виде двух полостей с поршнями разного диаметра и общим штоком. Полость, сообщенная с термобаллоном, имеет поршень, диаметр которого меньше диаметра поршня другой полости, и сквозное отверстие для отвода термочувствительной жидкости в случае ее переполнения.

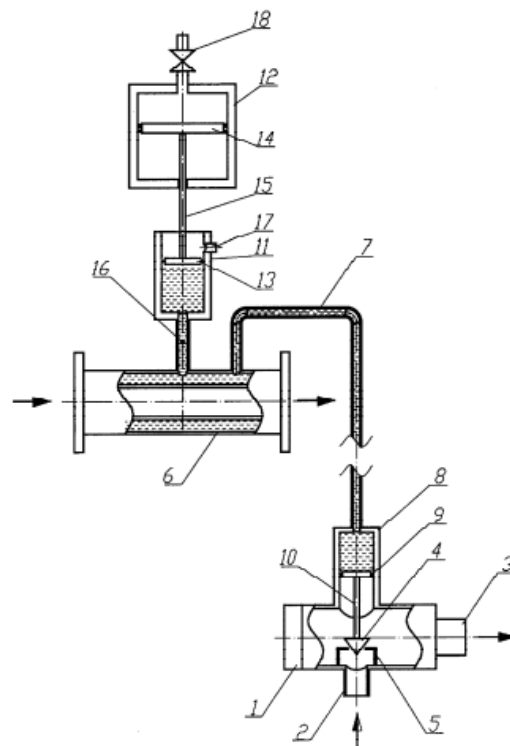


Рисунок 2 – Регулятор температуры по патенту РФ №2269152 [4]

1 – корпус; 2 – подводящий канал; 3 – отводящий канал; 4 – клапан запорного органа; 5 седло запорного органа; 6 – термобаллон; 7, 16 – капилляры; 8 – силовой цилиндр; 9, 13, 14 – поршни; 10 – шток; 11, 12 – полость; 15 – общий шток; 17 – сквозное отверстие.

Основные недостатки:

- относительно высокая сложность конструкции из-за наличия двух полостей и системы сообщающихся поршней;
- повышенные требования к точности изготовления деталей, что увеличивает себестоимость;
- необходимость периодической проверки и обслуживания устройства защиты.

Регулятор температуры по патенту РФ №2316037 [8]

Наиболее совершенной из рассмотренных конструкций является регуля-

тор по патенту РФ №2316037, разработанный В.А. Питателевым и Е.В. Питателевым. Данный регулятор содержит корпус с подводными и отводящими патрубками, клапан и седло, а также термосистему, включающую термобаллон с термочувствительной жидкостью, расположенный вне корпуса в регулируемой среде и сообщенный посредством капилляра с силовым цилиндром [8].

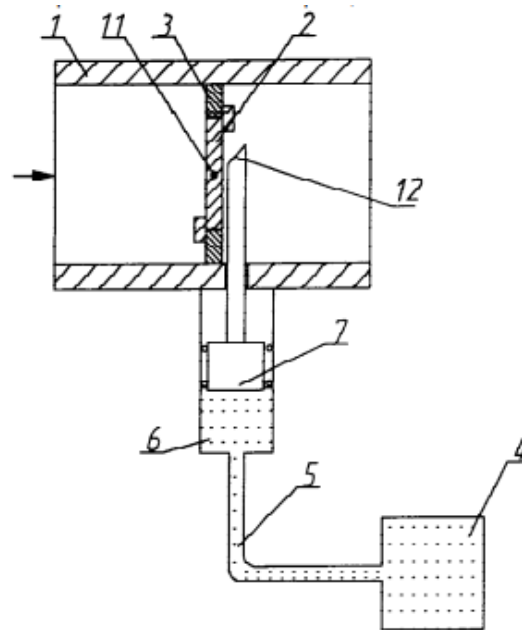


Рисунок 3 – Регулятор температуры по патенту РФ №2316037 [8]

1 – корпус; 2 – клапан; 3 – седло; 4 – термобаллон; 5 – капилляр; 6 – силовой цилиндр; 7 – поршень; 8 – шток; 9 – свободный конец; 10 – полость; 11 – ось; 12 – скос; 13 – подводный патрубок; 14 – отводящий патрубок; 15 – термочувствительная жидкость

Ключевой особенностью конструкции является выполнение клапана в виде пластины, установленной в корпусе таким образом, что в закрытом положении она не взаимодействует со штоком, а при снижении температуры регулируемой среды пластина имеет возможность поворота при взаимодействии со свободным концом перемещающегося штока.

Сравнительный анализ рассмотренных регуляторов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ механических регуляторов температуры для пастеризаторов [4; 7; 8]

Параметр	Патент РФ №145587	Патент РФ №2269152	Патент РФ №2316037
Принцип регулирования	Пропорциональный	Позиционный	Пропорциональный
Наличие защиты от перегрева	Нет	Есть (двухполостная)	Есть (термобаллон вне корпуса)
Сложность конструкции	Средняя	Высокая	Низкая
Надежность	Низкая	Средняя	Высокая
Простота обслуживания	Сложное	Среднее	Простое
Количество деталей, требующих высокой точности изготовления	Умеренное	Большое	Минимальное
Ожидаемый ресурс до капитального ремонта, тыс. циклов	50–70	70–100	100–150

В качестве базовой платформы для внедрения предлагаемых решений рассматривается пластинчатая пастеризационно-охладительная установка А1-ОКЛ-3, широко применяемая на предприятиях молочной промышленности. Установка предназначена для быстрого нагрева молока в тонком слое и закрытом потоке с последующим охлаждением после кратковременной выдержки [3; 12].



Рисунок 4 – Пастеризационно-охладительная установка А1-ОКЛ-3 [3]

Технические характеристики установки А1-ОКЛ-3 представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики пастеризационно-охладительной установки А1-ОКЛ-3 [3]

Наименование показателя	Значение
Производительность, л/ч	3000
Температура молока на входе, °С	5–10
Температура пастеризации, °С	76–80
Температура охлажденного молока на выходе, °С	2–6
Время выдержки, с	25
Коэффициент регенерации тепла, %	85
Рабочее давление в аппарате, кПа	300

Пластинчатый аппарат установки А1-ОКЛ-3 имеет три секции: регенерации (I), пастеризации (II) и охлаждения (III). В аппарате использована теплообменная пластина типа АГ-2 с поверхностью теплообмена 0,2 м². Технологический процесс включает следующие основные этапы:

1. Молоко из резервуара поступает в приемный бак, откуда насосом подается в секцию регенерации для предварительного нагрева;
2. Нагретое молоко направляется в сепаратор-молокоочиститель для удаления механических примесей;
3. Очищенное молоко возвращается в аппарат, проходит секцию пастеризации, где нагревается до 76–90 °С, и направляется через переключающий клапан в выдерживатель;
4. По истечении времени выдержки (25 с) молоко последовательно проходит секции регенерации (отдавая тепло поступающему холодному молоку) и охлаждения (ледяной водой);
5. Готовый продукт направляется в молокохранилище.

Ключевым элементом управления является переключающий клапан, который при недостижении заданной температуры возвращает продукт на повторную пастеризацию, что гарантирует микробиологическую безопасность готового продукта [12].

На основе проведенного патентного анализа в качестве прототипа для модернизации выбран регулятор температуры по патенту РФ №2316037 [8].

Выбор обусловлен его простотой, надежностью и наличием встроенной защиты от перегрева, что особенно важно при работе с молоком — продуктом, чувствительным к термическому воздействию. Предлагаются следующие направления совершенствования:

1. Модернизация пружинного узла для расширения диапазона регулирования.

Одним из ограничений базовой конструкции является фиксированный диапазон температур регулирования, определяемый жесткостью пружины, воздействующей на шток силового цилиндра. Для устранения этого недостатка предлагается:

– установить сменные пружины с различной жесткостью, что позволит оперативно перенастраивать регулятор на различные режимы пастеризации (длительную, кратковременную или высокотемпературную);

– ввести регулировочную гайку для предварительного поджатия пружины, обеспечивающую плавную настройку температуры срабатывания в пределах до 30% от номинального диапазона.

Ожидаемый эффект – расширение области применения регулятора для различных типов молочной продукции и режимов пастеризации без замены базового устройства.

2. Модернизация уплотнений для повышения ресурса и надежности.

Анализ эксплуатации механических регуляторов в условиях пищевых производств показывает, что наиболее уязвимым элементом являются уплотнения штока, работающие в контакте с моющими и дезинфицирующими растворами. Для повышения ресурса предлагается:

– заменить стандартные резиновые уплотнения на уплотнения из пищевого силикона с повышенной химической стойкостью;

– предусмотреть возможность быстрой замены уплотнительной манжеты без полной разборки регулятора, что сократит время простоя оборудования.

3. Адаптация регулятора для работы в составе АСУ ТП.

Современные тенденции развития молочной промышленности связаны с цифровизацией производственных процессов [1; 6]. Для интеграции механического регулятора в автоматизированную систему управления предлагается:

– оснастить регулятор датчиком положения штока (например, индуктивным или потенциометрическим), сигнал от которого будет передаваться на ПЛК для мониторинга состояния регулирующего органа;

– предусмотреть возможность дистанционного изменения уставки температуры путем управления электроприводом, воздействующим на регулировочную гайку пружины.

На рисунке 5 представлена функциональная схема предлагаемого модернизированного регулятора температуры.

Стабилизация температурного режима пастеризации позволяет снизить перерасход тепловой энергии, возникающий при колебаниях температуры. По экспертным оценкам, внедрение автоматического регулирования температуры позволяет сократить энергопотребление на 5–8% по сравнению с ручным или позиционным управлением [11].

Предотвращение перегрева продукта и обеспечение стабильного времени выдержки снижает количество некондиционной продукции. По данным ряда исследований, автоматизация способствует улучшению санитарно-гигиенических показателей и повышению выхода готовой продукции.

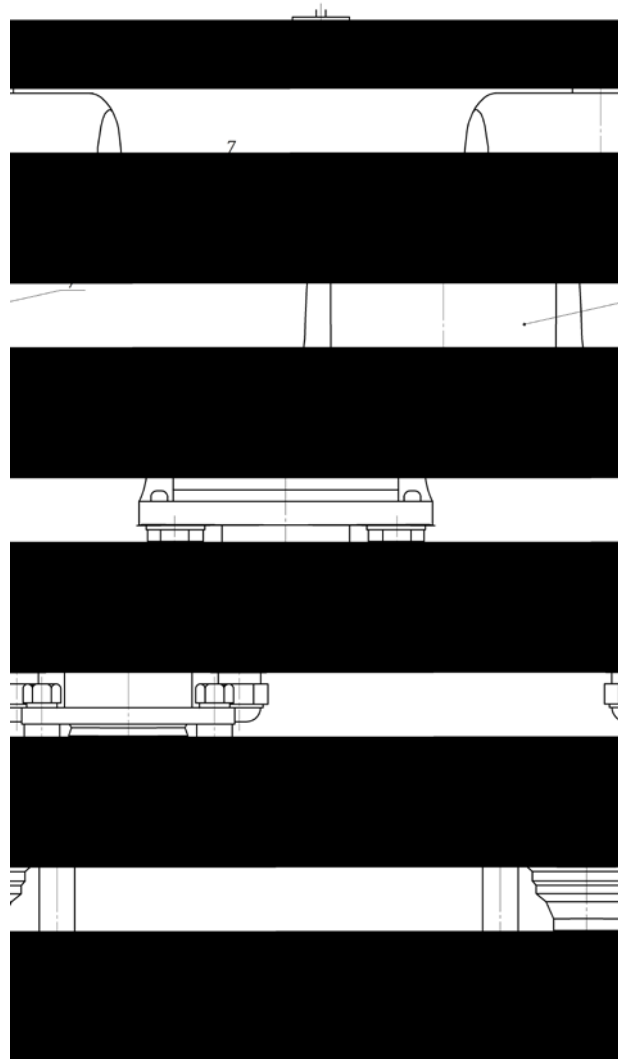


Рисунок 5 – Функциональная схема модернизированного регулятора температуры

1 – корпус; 2 – плунжер; 3 – тарелка с уплотнительным кольцом; 4 – шток; 5 – крышка с уплотнительной прокладкой; 6 – узел уплотнения штока; 7 – электрический исполнительный механизм; 9 – гайка.

Предотвращение перегрева продукта и обеспечение стабильного времени выдержки снижает количество некондиционной продукции. По данным ряда исследований, автоматизация способствует улучшению санитарно-гигиенических показателей и повышению выхода готовой продукции.

Замена стандартных уплотнений на более долговечные и обеспечение удобного доступа к обслуживаемым элементам увеличивает межремонтный

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

ресурс регулятора с 100 до 150 тыс. циклов (см. табл. 1) и сокращает время простоев.

Внедрение систем автоматического регулирования в молочной промышленности, по некоторым данным, позволяет увеличить добавленную стоимость продукции на 5-10%, что особенно важно для малых и средних предприятий, работающих в условиях жесткой конкуренции.

В результате проведенных исследований установлено, что точное поддержание температурного режима пастеризации является критическим фактором качества и безопасности молочных продуктов. Существующие методы регулирования можно разделить на автоматизированные системы на базе ПЛК, отличающиеся высокой точностью, но и высокой стоимостью, и механические регуляторы прямого действия, которые проще, надежнее и дешевле.

Патентный анализ трёх конструкций механических регуляторов температуры (патенты РФ №145587, №2269152, №2316037) позволил выявить их достоинства и недостатки. Наиболее перспективной для дальнейшего совершенствования признана конструкция по патенту РФ №2316037, характеризующаяся минимальной сложностью, высокой надёжностью и наличием встроенной защиты от перегрева. Для этого регулятора-прототипа предложены следующие направления модернизации: оснащение сменными пружинами и регулировочной гайкой для расширения диапазона настройки, замена уплотнений на пищевой силикон с обеспечением быстрой замены, а также интеграция датчика положения штока для подключения к АСУ ТП.

Экономическая оценка показала, что внедрение усовершенствованного регулятора обеспечивает снижение энергозатрат на 5–8%, уменьшение потерь от брака, повышение выхода готовой продукции и увеличение добавленной стоимости на 10–15%, при этом срок окупаемости для малогабаритного молочного цеха составляет 1,5–2 года. Предложенные технические решения могут быть рекомендованы к внедрению на предприятиях молочной промышлен-

ности, особенно малой и средней производительности, где автоматизированные системы на базе ПЛК экономически менее доступны.

Библиографический список

1. Автоматизация производства на молочном комбинате [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dis-rostov.ru>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Бредихин С.А. Технология и техника переработки молока / С.А. Бредихин, Ю.В. Космодемьянский, В.Н. Юрин. – М.: Колос, 2003. – 400 с.
3. Ведищев С.М. Технологии и механизация первичной обработки и переработки молока: Учеб. пособие / С.М. Ведищев, А.В. Милованов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 152 с.
4. Галиев Г.Б. Регулятор температуры: пат. 145587 РФ / Г.Б. Галиев. – № 2014118144/28; заявл. 05.05.2014; опубл. 20.09.2014. – Бюл. № 26.
5. Дивин А.Г. Средства измерения температуры, оптических и радиационных величин: учебное пособие / А.Г. Дивин, С.В. Пономарев. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 116 с.
6. КМУ1 автоматика для управления пастеризаторами и сырными ваннами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owen-chel.ru>, свободный. – Загл. с экрана.
7. Питателев В.А. Регулятор температуры: пат. 2269152 РФ / В.А. Питателев, А.И. Свяжин. – № 2004121887/28; заявл. 16.07.2004; опубл. 27.01.2006. – Бюл. № 3.
8. Питателев В.А. Регулятор температуры: пат. 2316037 РФ / В.А. Питателев, Е.В. Питателев. – № 2006107846/28; заявл. 13.03.2006; опубл. 27.01.2008. – Бюл. № 3.
9. Пономарев С.В. Теоретические и практические аспекты теплофизических измерений: монография. В 2-х кн. / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, А.Г. Дивин. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2006. – Кн. 2. – 216 с.

10. Раннев Г.Г. Методы и средства измерений: учебник для вузов / Г.Г. Раннев, А.П. Тарасенко. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 336 с.
11. Селиверстов М.В. Анализ способов контроля и регулировки температурного режима проведения технологических процессов при производстве кисломолочной продукции термостатным способом / М.В. Селиверстов, А.А. Штанько // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2019. – № 4-2. – С. 51-54.
12. Техническая документация на пастеризационно-охладительную установку А1-ОКЛ-3. – ОАО «ЭЛЬФ-4М», Рязань, 2015.