

закваски; точного контроля температур при пастеризации и сквашивании продукта; контроль давления на стадии гомогенизации; поддержание уровня во всех технологических емкостях; программного управления мешалкой в танке.

С целью полной автоматизации линии производства кефира необходимо предусмотреть датчики уровня по всем емкостям линии, датчики температуры для контроля и регулирования температур на стадии пастеризации и сквашивания, датчик давления для реализации управления насосом-дозатором для подачи молока в гомогенизатор. Изменение подачи молока при заданном давлении может быть обеспечена с помощью преобразователя частоты для привода насоса. Программное управление мешалкой, также как и управление оборудования линии в целом можно обеспечить с помощью контроллера. Отслеживать важные технологические параметры можно с помощью панели оператора, подключенной к контроллеру.

Алгоритм управления линией заключается в следующем. Пуск линии должен осуществлять оператор, например, с помощью тумблера. Так как линия поточная, то включение оборудования линии должно происходить обратного хода продукта. Сперва включаются в работу насосы в контурах бойлеров. Далее включается привод молочного насоса и клапан впуска молока из приемного отделения, привод сепаратора, с задержкой времени на его разгон. Спустя задержку времени включается привод насоса-дозатора. Затем линия будет работать в зависимости от показаний датчиков. По сигналу датчика давления выставляется скорость подачи насоса-дозатора для обеспечения наилучшего режима работы сепаратора. По сигналам датчиков температуры воды в пастеризаторе и в теплообменнике ведется регулирование температуры в контуре нагрева и охлаждения пастеризационной установки. Молоко проходит две проверки по температуре после выхода из секции нагрева и после охлаждения. При несоответствии температуры молока заданной открываются клапаны пастеризатора, теплообменника и загораются сигнальные лампы (слив в уравнивательный бак). При нормальном режиме работы молоко поступает в танк, где контролируется его температура датчиком. При заполнении танка срабатывает датчик верхнего уровня, при этом выключается линия пастеризации, включается на время подача закваски клапаном закваски. Далее в танке поддерживается заданная температура и происходит периодическое перемешивание молока приводом мешалки по задержке времени. По окончании процесса сквашивания подается сигнал готовности.

Таким образом, особенности автоматизации линии производства кефира состоят в реализации сложного алгоритма управления в соответствии с принципами управления поточной линией. Кроме того, необходимо обеспечить стабилизацию температуры теплоносителя для обеспечения температуры пастеризации, что требует предусмотреть контур регулирования на базе программного регулятора, реализуемого в программе контроллера. Также требуется программно управлять мешалкой в танке сквашивания и поддерживать в нем необходимую температуру сквашивания.

Список использованной литературы

1. Карпеня, М.М. Технология производства молока и молочных продуктов: учеб. пособие / М.М. Карпеня, В.И. Шляхтунов, В.Н. Подрез. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2014. – 410 с.
-

УДК 631.171

Якубовская Е.С., Мойсеевич А.А.

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В РУБАШКЕ ЗАКВАСОЧНИКА
В ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА КЕФИРА**

Эффективность современного молокоперерабатывающего производства зависит от уровня его автоматизации. При разработке оптимальной автоматизированной системы, обеспечивающей точное поддержание технологических параметров, требуется промоделировать ее работу для определения качества регулирования.

При производстве кефира одной из основных технологических операций является операция производства кефирной закваски. В случае использования резервуарного способа кефирную закваску готовят в заквасочниках [1, с. 208]. При этом необходимо точно выдерживать режимы приготовления

закваски (рис. 1). После обеспечения заполнения заквасочника молоком, его требуется подвергнуть пастеризации при температуре 90 °С в течении 30 минут. При этом задействован контур подачи теплоносителя. После пастеризации молоко охлаждается до 30 °С. При этом задействован контур подачи проточной холодной воды в рубашку заквасочника. После охлаждения молока вносится заквасочная культура в определенной дозе. При этом должна быть включена мешалка. Далее в заквасочнике смесь выдерживается в течении 18 часов при определенной температуре при периодическом вымешивании. Таким образом, система автоматического управления должна обеспечивать точное поддержание температуры, заданного для каждого режима в процессе приготовления закваски.

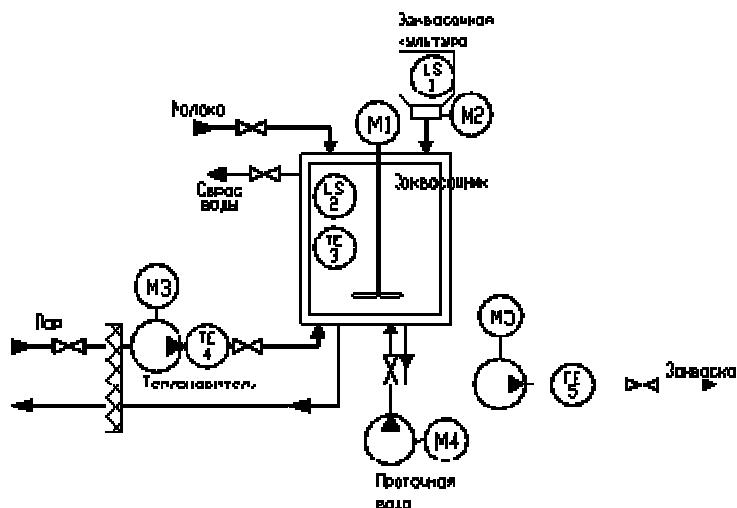


Рисунок 1. Процесс приготовления закваски

Задача поддержания температуры пастеризации в заквасочнике решается с помощью изменения подачи пара в контуре подачи теплоносителя в рубашку заквасочника в соответствии с плавным законом регулирования, реализуемым в контроллере. Контур поддержания температуры пастеризации состоит из объекта регулирования ОР (заквасочник, наполненный молоком), датчика температуры Д, задатчика З, элемента сравнения, регулятора Р и регулирующего органа – клапана непрерывного действия Кл, изменяющего подачу пара (рис. 2).

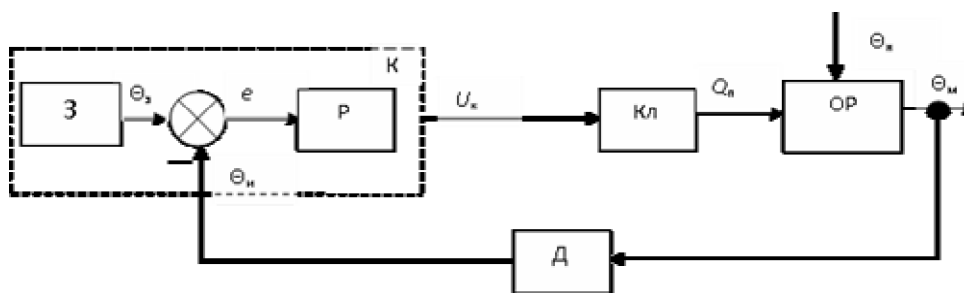


Рисунок 2. Функциональная схема САР температуры пастеризации:

З - задатчик, Р – регулятор, Кл – клапан, ОР – объект регулирования, Д – датчик, К – контроллер, Θ_z – заданная температура, e – ошибка, U_k - напряжение, прикладываемое к клапану, Q_p – подача пара, Θ_n – температура в помещении, Θ_m – температура молока, Θ_i – измеренная температура

Заквасочник как объект автоматического регулирования температуры пастеризации представляет собой апериодическое звено первого порядка с запаздыванием, описываемым передаточной функцией по формуле (1). Управляемым воздействием является температура пастеризации молока в заквасочнике Θ_m . Расход пара Q_p является управляющим воздействием. Возмущающим воздействием является температура в помещении Θ_n .

$$W(S) = \frac{k_o}{T_o S + 1} e^{-\tau_o S}, \quad (1)$$

где k_o – коэффициент передачи; T_o – постоянная времени; S – оператор Лапласа; τ_o – время запаздывания, с.

Средние значения параметров согласно [2, с. 90] $k_o = 23$, $T_o = 369$ с, $\tau_o = 10$ с.

По приближенной методике подберем закон регулирования с помощью диаграммы А.Я. Лернера [3, с. 122]. Рассчитав координаты диаграммы и учитывая, что время регулирования трег должно быть около 150 с получаем, что необходимо использовать ПИД-закон регулирования.

Каждый элемент функциональной схемы (рис. 2) для перевода в структурную схему следует описать передаточной функцией для чего воспользуемся уравнения динамики подобных элементов [4, с. 37]. По известным нам данным составим структурную алгоритмическую схему САУ температуры в контуре нагрева для анализа в прикладном пакете MATLAB (рис. 3) [5]. Следует иметь ввиду, что поскольку клапан является пропорциональным звеном, то его передаточная функция учтена в составе передаточной функции объекта. Также функция объекта представлена двумя звеньями – аперидическим первого порядка и звеном запаздывания. Регулятор представлен тремя составляющими: пропорциональной, интегральной и дифференциальной.

Оптимизацию проведем по переходной функции объекта согласно структурной схеме рис. 3, подав на вход единичное ступенчатое воздействие и задав следующие ограничения согласно рекомендациям [5, с.540]: перерегулирование не более 20 %, статическая ошибка должна отсутствовать, время регулирования не более 200 с. Варьируемые переменные - k_p , k_i , k_d . В качестве метода оптимизации по умолчанию установлен метод градиентного спуска. Но в этом случае в системе наблюдаются значительные колебания выходного параметра. Поэтому изменим метод оптимизации на Симплекс-метод.

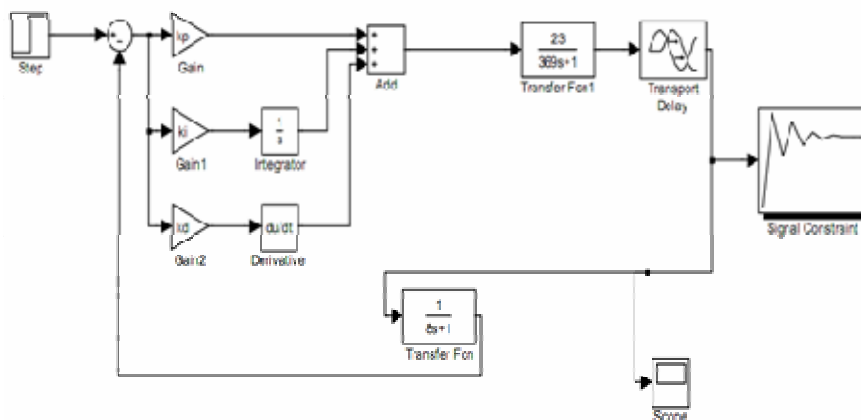


Рисунок 3. Структурная алгоритмическая схема САУ поддержания температуры пастеризации, адаптированная для анализа в MATLAB

В процессе подбора параметров оптимальной системы заикливание происходит при параметрах: $k_p = 1,06$; $k_i = 0,002$; $k_d = 11,5$. Показатели качества регулирования следующие: статической ошибки нет, время регулирования составляет 85 с, перерегулирование составляет 15 %. Таким образом, при наличии двух составляющих – пропорциональной и дифференциальной обеспечивается приемлемое качество регулирования. Найденные в процессе моделирования параметры настройки регулятора должны быть установлены в программе контроллера в блоке ПИД-регулятора.

Таким образом, в проведенном исследовании определена модель САУ температуры пастеризации в заквасочнике. Добиться точности поддержания температуры пастеризации позволит микропроцессорная система управления, которая по сигналу датчика температуры установит расход пара в контуре подачи теплоносителя в заквасочник. Найденные в процессе моделирования параметры настройки регулятора ($k_p = 1,06$; $k_i = 0,002$; $k_d = 11,5$) должны быть установлены в программе контроллера и обеспечат приемлимое качество регулирования.

Список использованной литературы

1. Карпеня, М.М. Технология производства молока и молочных продуктов: учеб. пособие / М.М. Карпеня, В.И.Шляхтунов, В.Н.Подрез. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2014. – 410 с.

2. Якубовская, Е.С. Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства: лабораторный практикум / Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова, А.А. Солдатенко. – Минск: БГАТУ, 2011. – 196 с.

3. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. – Минск : Новое знание, М.: ИНФРА-м, 2015. – 376 с.

4. Сидоренко, Ю.А. Теория автоматического управления: учебное пособие / Ю.А. Сидоренко. – Минск: БГАТУ, 2007. – 124 с.

5. Дьяконов, В. П. Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6® в математике и моделировании. Сер. «Библиотека профессионала» / В.П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с.

УДК 637.513

Коноваленко Л.Ю.

Росинформагротех, п. Правдинский, Российская Федерация

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Наилучшие доступные технологии направлены прежде всего на сведение к минимуму негативных последствий производственных процессов, в том числе путем сокращения потребления природных ресурсов, повышения энергоэффективности и ресурсной эффективности, а также вовлечения отходов производства и потребления в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья [1]. Такие технологии для мясной отрасли включены в информационно-технический справочник ИТС НДТ 43-2017 «Убой животных на мясокомбинатах, мясохладобойнях, побочные продукты животноводства» [2].

Появляются и новые перспективные разработки в этой области, имеющие ресурсосберегающий и природоохраный эффект. Принимая во внимание зарубежный опыт, к таким технологиям можно отнести, например, использование биореакторов с гетеротрофными микроводорослями при очистке сточных вод мясокомбинатов, богатых органикой. Данные устройства преобразуют органические вещества, азот и фосфор в сточных водах в биомассу, пригодную для производства биодизеля. Внутри биореактора рост гетеротрофных микроводорослей происходит под действием солнечного света и CO₂. Химический состав микроводорослевого ила следующий: белок (32 %), липиды (15 %), углеводы (16 %), минеральные вещества (22 %) и жидкость (15 %). Ил с таким составом является потенциальным источником сырья для биоперерабатывающих заводов.

При очистке сточных вод мясокомбинатов перспективно использование микробных топливных элементов. Микробные топливные элементы (МТЭ) – это устройства, которые используют бактерии в качестве катализатора для преобразования органических веществ в электричество. Микробный топливный элемент обычно состоит из анаэробной анодной камеры и одной аэробной катодной камеры, разделенных протонообменной мембраной (ПОМ). Экологические преимущества данной технологии - производство возобновляемой энергии, снижение содержания ХПК, БПК, взвешенных веществ и общего азота в сточных водах. Максимальная генерируемая плотность мощности составляет около 700 МВт/м².

В качестве рециклинга отходов мясной отрасли представляет интерес гидротермальное сжижение побочных продуктов (ГТС) – метод разложения и валоризации биомассы, сравнимый с газификацией и пиролизом. Это процесс, в котором используется горячая (300–400 °С) сконденсированная вода под давлением (40–200 бар) для преобразования биомассы в термически стабильный нефтепродукт, также известный как бионефть, которая может быть термокаталитически улучшена до углеводородных топливных смесей. Конечный продукт может содержать 10-73 мас. % биосырой нефти, 8-20 мас. % газа и 0,2-0,5 мас. % полукокса. Преимущества данного метода перед традиционным пиролизом: меньшее потребление энергии; лучшее разделение бионефти и водной фазы; бионефть имеет более низкое содержание O₂, серы и воды по сравнению с пиролизной нефтью. При этом может обрабатываться биомасса различного происхождения, отходы бойни могут быть добавлены к отходам молочного завода [3, 4].

Список использованной литературы

1. Коноваленко Л.Ю., Неменуца Л.А., Мишуров Н.П. Экологическое нормирование в сфере АПК с использованием принципа наилучших доступных технологий // Теория и практика современной аграрной науки: сб. V национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием. Новосибирск, 2022. С. 330–332.