

ШИШОВ О. В., СЛУГИН А. Г.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КОТЛОМ СТЕРИЛИЗАЦИИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ КОНСЕРВНОЙ ПРОДУКЦИИ

Аннотация. Рассматривается реализация системы управления котлов стерилизации, применяемых в пищевой промышленности при консервировании продуктов. Предлагаются подходы, позволяющие минимизировать расходы энергии в ходе стерилизации за счет оптимизации процесса регулирования температуры и давления.

Ключевые слова: котел, стерилизация, система управления, программируемый логический контроллер.

SHISHOV O. V., SLUGIN A. G.

IMPROVING STERILIZER CONTROL EFFICIENCY AT CANNERY PRODUCTION

Abstract. The article considers a practical realization of sterilizer control system used in the food industry for product canning. The authors suggest some approaches that allow to minimize sterilization energy costs by optimizing the temperature and pressure control.

Keywords: boiler, sterilization, control system, programmable logic controller.

Достаточно часто можно столкнуться с ситуацией, когда базовое технологическое оборудование, даже проработав много лет, еще полностью работоспособно и находится в относительно хорошем состоянии, а электронные узлы системы управления этим оборудованием уже неоднократно ремонтировались, физически износились и морально устарели. При этом приходится или переходить на ручные режимы управления оборудованием или решать задачи срочной модернизации его системы управления. С учетом того, что за годы работы оборудования могло уже смениться несколько поколений электронной элементной базы, приведение системы управления в порядок часто сводится фактически к ее построению вновь.

Примером возникновения такой ситуации является использование в пищевой промышленности для стерилизации при производстве консервированных продуктов котлов марки КВМ. Даже после многих лет эксплуатации базовая (технологическая) часть котлов остается полностью работоспособной, чего порой нельзя сказать о компонентах системы управления. Перед нами стояла задача по автоматизации работы котла КВМ-4,5.

Данный аппарат предназначен для стерилизации в водной среде консервов (мясных, рыбных, молочных или плодоовощных) в стеклянной, пластиковой или металлической таре. Котел представляет собой цилиндрический резервуар со сферическим дном и крышкой. Котел оборудован устройствами для подачи внутрь воды. Нагрев воды и поддержание

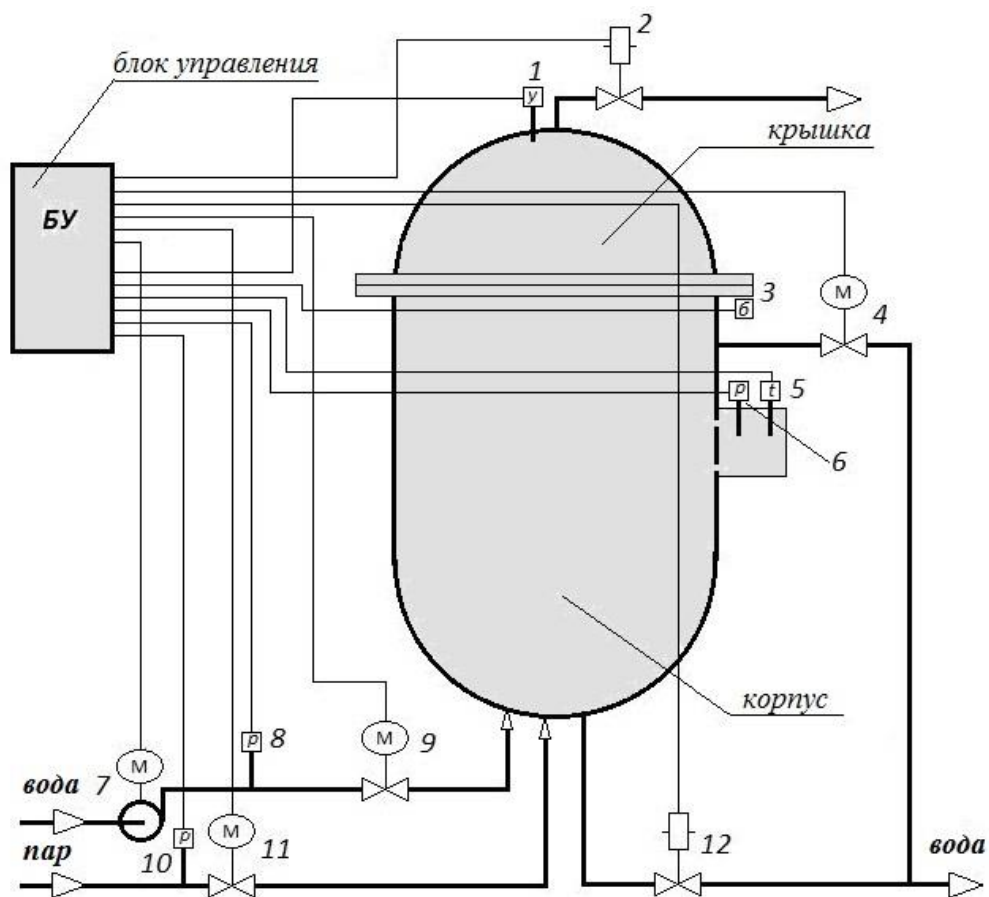
заданного температурного режима стерилизации осуществляется за счет подачи в котел горячего водяного пара.

Процесс стерилизации проходит в несколько этапов. После загрузки в котел консервов и заливки воды производится подача пара. При достижении некоторой температуры происходит закрытие продувочного клапана, т.е. герметизация котла. С этого момента внутри котла начинает повышаться не только температура, но и давление – идет этап нагрева. Затем в течение заданного времени проводится процесс (этап) стерилизации, когда температура и давление стабилизируются на нужном уровне. После окончания этого этапа начинается третий – охлаждения. Температура и давление на этапе нагрева и охлаждения должны меняться с заданной скоростью.

Автоматизация работы котла предполагает включение в состав его оборудования датчиков и исполнительных механизмов, работающих с блоком управления. Структурная схема системы управления котлом, получаемая при этом, показана на рисунке 1.

Датчики минимального давления воды и пара, а также датчик закрытия крышки исключают запуск процесса стерилизации при отсутствии пара, воды, при открытой крышке котла. Во время заполнения котла водой датчик уровня сигнализирует, что котел полон. Через продувочный клапан удаляется воздух и избыточная вода. Задвижки подачи воды и задвижка подачи пара служат для подачи воды и пара. Меняя с их помощью уровень подачи воды и пара, в котле поддерживается нужная температура или реализуется программа необходимого ее роста или уменьшения. Для сброса лишнего давления служит сливная задвижка. Температуру и давление регистрируют датчики температуры и давления. Через сливной клапан после завершения процесса стерилизации сливается вода.

При разработке системы управления было решено использовать современные типовые технические средства [5; 6; 7]. Базовыми ее компонентами стали программируемый логический контроллер и операторная панель. Выбор конкретного контроллера производился исходя из требуемого объема программной памяти, количества дискретных и аналоговых входов/выходов, нужной вычислительной мощности. Решению поставленной перед нами задачи наиболее оптимально соответствовал контроллер ПЛК154 компании ОВЕН. Операторная панель ОВЕН ИП320 была выбрана исходя из необходимого объема сообщений, числа параметров, требуемых к одновременному отображению на экране, числа управляющих клавиш.



- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. Датчик верхнего уровня воды. | 7. Насос подачи воды. |
| 2. Продувочный клапан. | 8. Датчик минимального давления воды. |
| 3. Датчик закрытия крышки. | 9. Задвижка подачи воды. |
| 4. Сливная задвижка. | 10. Датчик минимального давления пара. |
| 5. Датчик температуры. | 11. Задвижка подачи пара. |
| 6. Датчик давления. | 12. Сливной клапан. |

Рис. 1. Структурная схема управления котлом.

Применение «интеллектуальных» элементов для построения системы управления позволило поднять вопрос об оптимизации системы управления, включении ее в единую систему диспетчеризации, применяемой на предприятии.

Для консервной отрасли большой интерес представляет повышение экономичности стерилизационных аппаратов. Одним из направлений решения этого вопроса является оптимизация процесса регулирования температуры при стерилизации. Задача оптимизации управления температурой греющей среды по критерию энергетической эффективности заключается в отыскании таких коэффициентов регулятора, которые приводят к реализации управляющего воздействия, обеспечивающего необходимый ход выполнения стерилизации при минимальном расходе энергии.

К сожалению, считается, что более половины контуров систем автоматического управления, функционирующих на промышленных предприятиях, работает с неоптимальными коэффициентами регуляторов. В первую очередь, это характерно для работы с многомерными системами, при наличии сложных объектов с перекрестными связями, существенных изменениях параметров объектов управления при различных режимах их работы [1]. Это в полной мере справедливо для консервной промышленности [2; 3].

Различные виды стерилизуемой продукции обладают различными характеристиками с точки зрения теплоемкости и теплопроводности, что приводит к изменению параметров объекта (стерилизационной камеры), а значит, если стоит задача оптимального управления процессом, существует необходимость задания различных настроек регуляторов (применению индивидуальных коэффициентов закона регулирования) для каждого вида сырья [2].

Стерилизационная камера на каждом этапе стерилизации как объект регулирования ведет себя по-разному, т.е. выступает разными объектами. Поэтому оптимальный регулятор, управляющий ее температурой, должен обладать различным набором параметров для каждого этапа [3; 4].

Так как для каждого этапа будет определяться свой набор оптимальных коэффициентов регулятора, необходимо выбрать алгоритм переключения в момент перехода от этапа к этапу так, чтобы при этом обеспечивалась экономия энергетических ресурсов в данном случае уже за счет исключения перерегулирования.

Все эти особенности реализации регулирования температуры и давления в стерилизаторе было решено учесть в проводящейся нами работе.

Для контура управления температурой в стерилизационной камере был выбран дискретный ПИ-регулятор в рекуррентной форме:

$$e[k] = Q[k] - Y[k], \quad U[k] = U[k-1] + K_p \cdot (e[k] - e[k-1]) + K_t \cdot e[k-1]$$

с ограничениями $U[k] > 0$ и $U[k] < 0,5$, где

k – номер шага квантования;

$e[k]$ и $e[k-1]$ – ошибка управления на текущем (k -том) и предыдущем шагах квантования;

$Q[k]$ – заданное значение регулируемой величины (температуры в стерилизационной камере) на текущем (k -том) шаге квантования;

$Y[k]$ – сигнал обратной связи (температура в стерилизационной камере) на текущем (k -том) шаге квантования;

K_t , K_p – коэффициенты интегральной и пропорциональной составляющей регулятора;

$U[k]$ и $U[k-1]$ – значение управления на текущем (k -том) и предыдущем шагах квантования.

Использование более сложных алгоритмов управления в данной задаче себя не оправдывает. Введение дифференциальной составляющей в регулятор не требуется из-за плавного изменения управляющего воздействия и инерционности процессов, происходящих в процессе стерилизации.

В качестве алгоритма смены коэффициентов ПИ-регулятора в момент перехода от этапа к этапу предлагается использовать подход, заключающийся в том, что для расчета управления непосредственно после перехода на следующий этап технологического процесса используется лишь определенная доля K_x управляющего воздействия, определенного в конце предыдущего этапа: $U[k] = K_x \cdot U[k - 1] + K_p \cdot e[k]$.

Получаемый процесс управления как бы «предсказывает» необходимое значение интегральной составляющей на первом шаге управления с новыми коэффициентами.

Таким образом, в ходе поиска оптимальных коэффициентов регулятора необходимо определить три тройки оптимальных коэффициентов: K_p , K_t и K_x . Использование какой-либо математической модели для расчета коэффициентов закона регулирования и анализа эффективности их выбора затруднительно из-за сложностей ее реализации, хотя попытки это сделать предпринимались неоднократно [2]. Вместе с тем при наличии определенного опыта оператор может достаточно точно произвести их подбор непосредственно в ходе технологического процесса. Однако для этого ему нужна точная развернутая информация о течении процесса, об изменениях температуры и давления в его ходе, о формировании управляющих воздействий. Нами для этого было предложено использовать возможности, предоставляемые современными контроллерами.

При настройке системы управления к контроллеру ПЛК154 подключался персональный компьютер с установленной системой программирования (в данном случае пакетом CoDeSys). После проведения необходимых настроек на экран компьютера можно выводить необходимые тренды – графики, показывающие с заданной периодичностью изменения заданных параметров процесса измеряемых контроллером. При необходимости их можно записывать в файл с форматом, читаемым обычным офисным приложением Excel. Все это позволяет рассматривать, накапливать, сравнивать информацию о ходе технологического процесса, в том числе решать вопросы по настройке регулятора.

Применение в системе управления универсальных промышленных контроллеров, имеющих стандартные интерфейсы и способных обмениваться с другими вычислительными компонентами информацией по известным и распространенным сетевым протоколам, позволило подойти к решению задачи диспетчеризации – сбору обобщающих данных с нескольких котлов в едином центре, формированию отчетов и архивированию данных. Предложены решения с применением SCADA системы на персональном компьютере и с использованием операторной панели компании ОВЕН СП307.

Внедрение данной системы управления позволяет гибко подходить к выбору параметров стерилизации. Используемые алгоритмы позволяют уменьшить перегревы при переходе от этапа к этапу в процессе стерилизации консервов и достичь определенной энергоэффективности по сравнению с традиционными подходами к организации регулирования. Система диспетчеризации упрощает вопросы контроля за производством.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варламов И. Г., Залуцкий И. Е., Серёжин Л. П. Проблемы создания и эксплуатации эффективных систем управления // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2004. – № 7. – С. 1–7.
2. Власов А. В., Кайченев А. В., Маслов А. А. Исследование динамики теплообмена в стерилизационной камере автоклава // Рыб. хоз-во. – 2009. – № 6. – С. 77–79.
3. Власов А. В., Кайченев А. В., Маслов А. А. Критерии оптимизации управления температурой в автоклаве при стерилизации паром // Молодежь и современные информационные технологии: сб. тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф. студ., аспирантов и молодых ученых / ТПУ. – Томск, 2010. – С. 56–57.
4. Маслов А. А., Власов А. В., Кайченев А. В., Власова А. Р., Яценко В. В. Способ оптимального управления температурой в автоклаве на основе регулятора «с предсказанием» // Вестник Мурманского государственного университета. – 2011. – Т. 14, № 3. – С. 520–524.
5. Шишов О. В. Программируемые контроллеры в системах промышленной автоматизации. (Учебник). – М.: ИНФРА-М, 2016. – 365 с.
6. Шишов О. В. Современные технологии промышленной автоматизации. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. – 276 с.
7. Шишов О. В. Технические средства автоматизации и управления. – М.: ИНФРА-М, 2011. – 397 с. +CD-R.
8. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления / пер. с англ. В. А. Лотоцкого, А. С. Манделя; под ред. А. С. Райбмана. – М.: Мир, 1975. – 680 с.