

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
В АВТОКЛАВЕ**

**AUTOMATION OF THE TEMPERATURE CONTROL SYSTEM
IN AN AUTOCLAVE**

Ключников Е.А., студент

Щербакова И.В., к.т.н., доцент

**ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»**

г. Воронеж, Россия

egor.kl@list.ru

Klyuchnikov E.A., student

Shcherbakova I.V., CSc (Engineering), Associate Professor

**FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov»**

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается подход к разработке системы автоматического регулирования температуры в автоклаве.

Summary: The article discusses an approach to the development of an automatic temperature control system in an autoclave.

Ключевые слова: автоматизация, автоклав, системы автоматического регулирования.

Keywords: automation, autoclave, automatic control systems.

В настоящее время одним из направлений повышения эффективности, точности и безопасности работы промышленного оборудования является внедрение систем автоматизация технологических процессов[1-7]. В различных отраслях производства в состав технологического оборудования может входить такое устройство как автоклав.

Автоклав представляет собой герметичную камеру, предназначенную для проведения процессов стерилизации, термической обработки и синтеза, с использованием высокого давления и температуры.

Важнейшим параметром работы автоклава является температура. Точное регулирование температуры влияет на качество выполняемых операций, безопасность процесса и энергоэффективность системы. Традиционные способы управления температурой зачастую не обеспечивают требуемую точность и адаптивность. Это особенно заметно в тех случаях, когда необходимо быстро реагировать на изменения внешних условий или поддерживать сложные температурные режимы.

Устранить указанные недостатки позволяет применение автоматизированных систем регулирования температуры. Автоматизация не только минимизирует участие человека в процессе регулирования, но и повышает точность, надежность и гибкость работы автоклава.

Рассмотрим компоненты автоматизированных систем регулирования температуры в автоклаве. Основными элементами таких систем являются датчики. Наиболее популярными типами датчиков можно считать следующие:

- Термопары, предназначенные для измерения высоких температур.
- Термисторы, обеспечивающие высокую точность измерений.
- Инфракрасные датчики, позволяющие измерять температуру без контакта с поверхностью.

Выбор датчика определяется требуемой точностью, диапазоном измерений и условиями эксплуатации.

Современные автоматизированные системы управления используют программируемые логические контроллеры (ПЛК). Они выполняют следующие функции:

- сбор данных с датчиков;
- анализ текущих значений температуры;
- корректировка работы нагревательных элементов в режиме реального времени;
- отображение данных в пользовательском интерфейсе.

Программное обеспечение микроконтроллеров может содержать различные алгоритмы. Наиболее востребованными в современных системах управления являются технологии, основанные на применении:

- ПИД-регуляторов, обеспечивающих точное поддержание заданной температуры;
- нечёткой логики, учитывающей неопределённости в технологическом процессе;

- машинного обучения, позволяющего прогнозировать изменения температуры и адаптироваться к новым условиям.

Контроллеры управляют работой исполнительных устройств, обеспечивающих поддержание в системе заданных параметров.

Температура в автоклаве может изменяться путем регулирования расхода пара. В этом случае контур регулирования будет включать в себя: объект регулирования (автоклав), датчик температуры, регулирующее устройство; исполнительный механизм постоянной скорости, снабженный датчиком положения его вала, регулирующий орган. Структурная схема замкнутой системы регулирования представлена на рисунке 1.

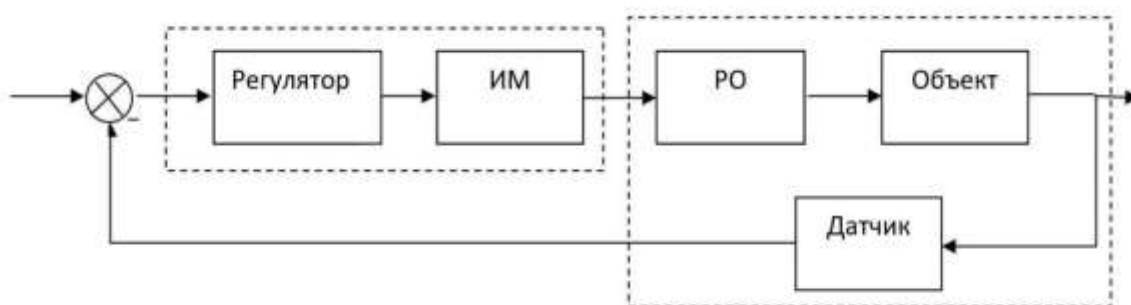


Рисунок 1—Структурная схема системы автоматического регулирования температуры в автоклаве

В качестве управляющего воздействия принимается угол поворота вала исполнительного механизма j , выраженный в процентах. Полностью закрытому состоянию рабочего органа соответствует $j=0\%$, полностью открытому состоянию соответствует $j=100\%$. В качестве регулируемой координаты принимается сигнал, формируемый на выходе датчика температуры.

Исполнительный механизм может находиться в трех состояниях: движение вперед, остановка и движение назад. При наличии цифрового управляющего устройства регулирующее воздействие будет формироваться в соответствии с разностным уравнением

$$j_{i+1} = j_i + \Delta j_{i+1}, \quad (1)$$

где j_{i+1} – угол поворота вала исполнительного механизма к концу $(i+1)$ -го интервала коммутации; Δj_{i+1} – угол поворота вала за время $(i+1)$ -го интервала коммутации; j_i – угол поворота вала на начало $(i+1)$ -го интервала коммутации.

В соответствии с (1) для управления исполнительным механизмом необходимо на $(i+1)$ -м интервале коммутации обеспечить поворот вала на угол Δj_{i+1} . Это может быть реализовано несколькими способами.

1. Зная скорость вращения вала, требуемый угол поворота и интервал коммутации, можно рассчитать время, на которое необходимо включить исполнительный механизм.

2. Охватить исполнительный механизм отрицательной обратной связью по положению (рисунок 2). Такое включение позволяет подавать на вход системы требуемое значение угла поворота, которого должен достичь вал в конце $i+1$ -го интервала коммутации;

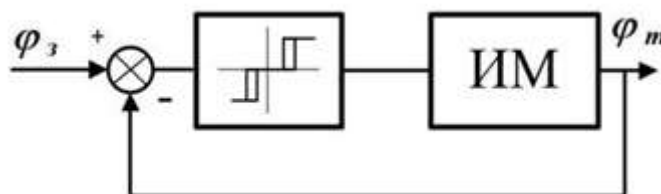


Рисунок 2 –Исполнительный механизм с отрицательной обратной связью по положению

Управлять скоростью перемещения вала исполнительного механизма на каждом интервале коммутации возможно с помощью частотного преобразователя.

Учитывая, что управление исполнительным механизмом возможно с помощью аналогового входного сигнала, а сама система с достаточной степенью точности аппроксимируется пропорциональным звеном, получим линеаризованную расчетную структурную схему, представленную на рисунке 3.

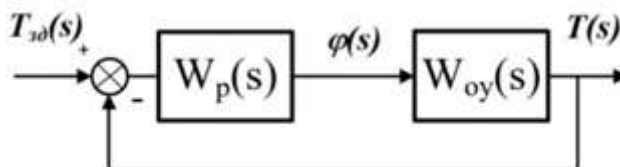


Рисунок 3 –Расчетная структурная схема регулирования температуры в автоклаве

Автоматизация системы регулирования температуры в автоклаве представляет ряд существенных преимуществ:

- автоматическая система минимизирует отклонения от заданной температуры, что особенно важно для критических процессов;
- оптимизация работы нагревательных элементов снижает энергопотребление;
- автоматическое отключение при выходе за пределы допустимых значений предотвращает аварийные ситуации;
- возможность настройки системы под различные режимы работы.

Следует отметить, что дальнейшее совершенствование системы автоматического регулирования температуры в автоклаве может быть связано с применением искусственного интеллекта для прогнозирования изменений температуры и адаптации к внешним факторам.

Внедрение автоматизированных решений позволяет не только повысить качество работы автоклавов, но и снизить затраты на их эксплуатацию.

Список литературы

1. Денисенко, В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2014. – 606 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/111051> (дата обращения: 01.04.2025).
2. Джонсон, К. Д. Технология контрольно-измерительных приборов для управления процессами / К. Д. Джонсон. – Pearson Education, 2018. – 704 с.
3. Олексюк, Е. Ф. Интернет вещей в промышленности: оптимизация производственных процессов через IoT -технологии / Е. Ф. Олексюк // Вестник науки, 2024. – №12 (81). – Т. 3. – С. 1490-1497. –URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/internet-veschey-v-promyshlennosti-optimizatsiya-proizvodstvennyh-protsessov-cherez-iot-tehnologii> (дата обращения: 01.04.2025).
4. Сазонов, Г. Г. Основы автоматического управления : учебное пособие / Г. Г. Сазонов. – М. : ТНТ, 2018. – 235 с.
5. Сажин, С. Г. Средства автоматического контроля технологических параметров : учебник / С. Г. Сажин. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 337 с.
6. Системы управления технологическими процессами и информационные технологии : учебник для вузов / В. В.Троценко, В. К.Федоров, А. И.Забудский, В. В.Комендантов. – М.: Издательство Юрайт, 2025.– 136 с.– URL: <https://urait.ru/bcode/563623/p.1> (дата обращения: 01.04.2025).
7. Смит, К. А. Принципы и практика автоматического управления технологическими процессами / К. А. Смит, А. Б. Коррипио. –Wiley, 2016. – 592с.

References

1. Denisenko, V. V. Computer control of technological process, experiment, equipment / V. V. Denisenko. – Moscow : Goryachaya liniya-Telecom, 2014. – 606 p. – URL: <https://e.lanbook.com/book/111051> (date of access: 04.01.2025).

2. Johnson, K. D. Technology of control and measuring devices for process control / K. D. Johnson. – Pearson Education, 2018. – 704 p.
3. Oleksiuk, E. F. The Internet of Things in industry: optimization of production processes through IoT technologies / E. F. Oleksiuk // Bulletin of Science, 2024. – №12 (81). – Vol. 3. – pp. 1490-1497. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/internet-veschey-v-promyshlennosti-optimizatsiya-proizvodstvennyh-protsessov-cherez-iot-tehnologii> (date of access: 04.01.2025).
4. Sazonov, G. G. Fundamentals of automatic control : a textbook / G. G. Sazonov. – M. : TNT, 2018. – 235 p.
5. Sazhin, S. G. Means of automatic control of technological parameters : textbook / S. G. Sazhin. – St. Petersburg : Lan, 2022. – 337 p.
6. Technological process management systems and information technologies : a textbook for universities / V. V. Trotsenko, V. K. Fedorov, A. I. Zabudsky, V. V. Komendantov. – M. : Yurayt Publishing House, 2025. – 136 p. – URL: <https://urait.ru/bcode/563623/p.1> (date of access: 04.01.2025).
7. Smith, K. A. Principles and practice of automatic control of technological processes / K. A. Smith, A. B. Corripio. – Wiley, 2016. – 592 p.