

Модернизация цифровой системы управления процессом пастеризации пива

Михаил В. Алексеев	¹	mwa1976@mail.ru	 0000-0001-7768-8550
Владимир С. Кудряшов	¹	kudryashovvs@mail.ru	 0000-0001-6237-0881
Игорь А. Авцинов	¹	igor.awtzinov@yandex.ru	 0000-0002-2528-0905
Александр Н. Гаврилов	¹	ganiwrn@mail.ru	 0000-0002-0132-4563
Андрей В. Иванов	¹	andrious@rambler.ru	 0000-0002-6034-9672
Иван А. Козенко	¹	kosenko211986@mail.ru	 0000-0002-1508-9875
Иван А. Устиненко	²	ustinenok00@mail.ru	

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 ООО «Пивоваренная компания «Балтика» – «Воронежский пивзавод», ул. 9 января, 109, г. Воронеж, 394027, Россия

Аннотация. Статья посвящена решению задач автоматизации пастеризатора в ООО «Пивоваренная компания «Балтика» - «Воронежский пивзавод» для повышения качества управления. Разработана структура системы управления на базе контроллера SIEMENS S7-400, модулей ввода/вывода SM321, SM331, SM322, SM332 и сенсорной панели IEI PPC-5190A. На оборудовании размещены средства локальной автоматизации: датчики температуры SENSYCON PT100; датчики давления Endress+Hauser Cerabar S PMC631, Aplysens 0...10 bar; электромагнитные расходомеры Endress+Hauser; кислородомер HAFMANS-PENTAIR; кондуктометр Enress+Hauser CLD134-PLC148AB2; клапаны SPIRAX SARCO. Выполнена настройка частотного преобразователя DANFOSS 131B2132 FC-302 для управления насосом для получения возможности работы с малыми потоками пива. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение для управляющего контроллера SIEMENS S7-400 (среда Step7) и сенсорной панели IEI PPC-5190A (среда WinCC). Для управления процессом пастеризации предложено реализовать схему комбинированного регулирования температуры пива (расходом пара) с компенсацией возмущения по давлению греющего пара в трубопроводе. Для синтеза алгоритма цифрового комбинированного управления проведена идентификация дискретных динамических моделей канала регулирования («расход греющего пара – температура пива на выходе из секции пастеризации») и канала возмущения («давление пара в трубопроводе подачи теплоносителя – температура пива на выходе из секции пастеризации»). Идентификация моделей каналов выполнена по полученным экспериментальным данным на пастеризаторе с помощью метода наименьших квадратов (МНК). Для расчета настроек цифровых ПИД-регулятора и компенсатора по каналам регулирования и возмущения применен численный метод оптимизации (метод покоординатного спуска). Проведены модельные эксперименты, которые показали, что применение данного алгоритма значительно снижает колебание температуры пива при пастеризации. Для синтеза алгоритма применялись авторские программы идентификации дискретных динамических моделей каналов объекта и оптимизации настроек цифровых регуляторов и компенсаторов. Система управления процессом введена в эксплуатацию.

Ключевые слова: пастеризатор, цифровая система управления, управляющий контроллер, алгоритм комбинированного регулирования, цифровые регуляторы и компенсаторы, оптимизация, численный метод покоординатного спуска.

Modernization of the digital control system for the beer pasteurization process

Mikhail V. Alekseev	¹	mwa1976@mail.ru	 0000-0001-7768-8550
Vladimir S. Kudryashov	¹	kudryashovvs@mail.ru	 0000-0001-6237-0881
Igor A. Avtsinov	¹	igor.awtzinov@yandex.ru	 0000-0002-2528-0905
Alexander N. Gavrilo	¹	ganiwrn@mail.ru	 0000-0002-0132-4563
Andrey V. Ivanov	¹	andrious@rambler.ru	 0000-0002-6034-9672
Ivan A. Kozenko	¹	kosenko211986@mail.ru	 0000-0002-1508-9875
Ivan A. Ustinenok	²	ustinenok00@mail.ru	

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 LLC «Baltika Brewing Company» - «Voronezh Brewery», 9 January str., 109, Voronezh, 394027, Russia

Для цитирования

Алексеев М.В., Кудряшов В.С., Авцинов И.А., Гаврилов А.Н., Иванов А.В., Козенко И.А., Устиненко И.А. Модернизация цифровой системы управления процессом пастеризации пива // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 15–21. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-15-25

For citation

Alekseev M.V., Kudryashov V.S., Avtsinov I.A., Gavrilo A.N., Ivanov A.V., Kozenko I.A., Ustinenok I.A. Modernization of the digital control system for the beer pasteurization process. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 15–21. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-15-21

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Abstract. The article is devoted to solving the problems of automation of the pasteurizer in LLC «Baltika Brewing Company» - «Voronezh Brewery» to improve the quality of control. The control system structure was developed based on the SIEMENS S7-400 controller, input/output modules SM321, SM331, SM322, SM332 and IEC PPC-5190A touch panel. The equipment includes local automation tools: SENSYCON PT100 temperature sensors; Endress+Hauser Cerabar S PMC631, Aplysens 0...10 bar pressure sensors; Endress+Hauser electromagnetic flow meters; HAFFMANS-PENTAIR oxygen meter; Enress+Hauser CLD134-PLC148AB2 conductivity meter; SPIRAX SARCO valves. The DANFOSS 131B2132 FC-302 frequency converter was adjusted to control the pump to enable working with small beer flows. Algorithmic and software support for the SIEMENS S7-400 control controller (Step7 environment) and the IEC PPC-5190A touch panel (WinCC environment) has been developed. To control the pasteurization process, it is proposed to implement a scheme for combined beer temperature control (steam flow rate) with disturbance compensation based on the heating steam pressure in the pipeline. To synthesize the algorithm for digital combined control, discrete dynamic models of the control channel ("heating steam flow rate – beer temperature at the pasteurization section outlet") and the disturbance channel ("steam pressure in the coolant supply pipeline – beer temperature at the pasteurization section outlet") were identified. The channel models were identified based on the experimental data obtained on the pasteurizer using the least squares method (LSM). A numerical optimization method (coordinate descent method) was used to calculate the settings of the digital PID controller and compensator for the control and disturbance channels. Model experiments were conducted, which showed that the use of this algorithm significantly reduces the fluctuation of beer temperature during pasteurization. To synthesize the algorithm, the author's programs for identifying discrete dynamic models of object channels and optimizing the settings of digital regulators and compensators were used. The process control system was put into operation.

Keywords: pasteurizer, digital control system, control controller, combined control algorithm, digital regulators and compensators, optimization, numerical method of coordinate descent.

Введение

Пастеризация – это процесс кратковременного нагрева пива до температуры, при которой погибают оставшиеся в нем живые дрожжи и микроорганизмы, деформирующие вкус продукта и сокращающие срок хранения пива [1–4]. Процесс пастеризации достаточно сложен с позиции управления. Предварительно в пастеризатор подается вода и трубы прогреваются паром (для выхода на требуемый температурный режим). Далее подается пиво (3–4 °C), которое поступает в отделение предварительного нагрева до 30–40 °C (камера рекуперации), затем в отделение пастеризации для нагрева до 67–72 °C паром (с выдержкой времени по длине трубопровода 30–150 с). Пастеризованное пиво направляется в камеру рекуперации (предварительное охлаждение), затем последующее охлаждение до 5–10 °C и далее в буферную емкость (для поддержания напора в линии розлива). После процесса пастеризации – санитарная обработка.

Основными контролируемыми и регулируемыми параметрами пастеризации являются температура и давление в контурах нагрева, охлаждения и рекуперации [5–8, 17–20].

ООО «Пивоваренная компания «Балтика» – «Воронежский пивзавод» потребовалась модернизация системы управления процессом пастеризации. Целью модернизации является повышение эффективности управления процессом в соответствии с технологическим регламентом, а также создание условий, гарантирующих снижение затрат на содержание и ремонт оборудования.

Решение задачи модернизации достигается путем замены устаревших технических средств автоматизации на более современные, а также корректировкой программного обеспечения цифровой системы управления (ЦСУ).

Результаты

Разработана структура системы управления на базе контроллера SIEMENS S7-400, модулей

ввода/вывода SM321, SM331, SM322, SM332 и сенсорной панели IEC PPC-5190A (рисунок 1) [9]. На оборудовании размещены средства локальной автоматизации: датчики температуры SENSYCON PT100; датчики давления Endress + Hauser Cerabar S PMC631, Aplysens 0–10 bar; электромагнитные расходомеры Endress + Hauser; кислородомер HAFFMANS-PENTAIR; кондуктометр Enress + Hauser CLD134-PLC148AB2; клапаны SPIRAX SARCO. Выполнена настройка частотного преобразователя DANFOSS 131B2132 FC-302 для управления насосом для получения возможности работы с малыми потоками пива.

ЦСУ представляет собой систему с управляющим контроллером, а также аналоговыми и дискретными модулями ввода / вывода, располагающимися в шкафу управления. Управление в штатном режиме обеспечивается с панели оператора.

Взаимодействие модулей ввода / вывода, управляющего контроллера и автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора реализовано посредством цифровых интерфейсов. Между датчиками, исполнительными устройствами и модулями ввода / вывода обеспечивается передача аналоговых и дискретных сигналов.

Разработано алгоритмическое и программное обеспечение для управляющего контроллера SIEMENS S7-400 (среда Step7) и сенсорной панели IEC PPC-5190A (среда WinCC) (рисунок 2) [9–15].

При пастеризации обычно реализуются одноконтурные схемы регулирования температуры пива расходом греющего пара по ПИД-закону:

$$u(t) = PID_P \cdot e(t) + PID_I \cdot \int_0^t e(t) dt + PID_D \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

где $u(t)$ – управляющее воздействие регулятора; PID_P – пропорциональная настройка регулятора; PID_I – интегральная настройка; PID_D – дифференциальная настройка; $e(t)$ – ошибка регулирования.

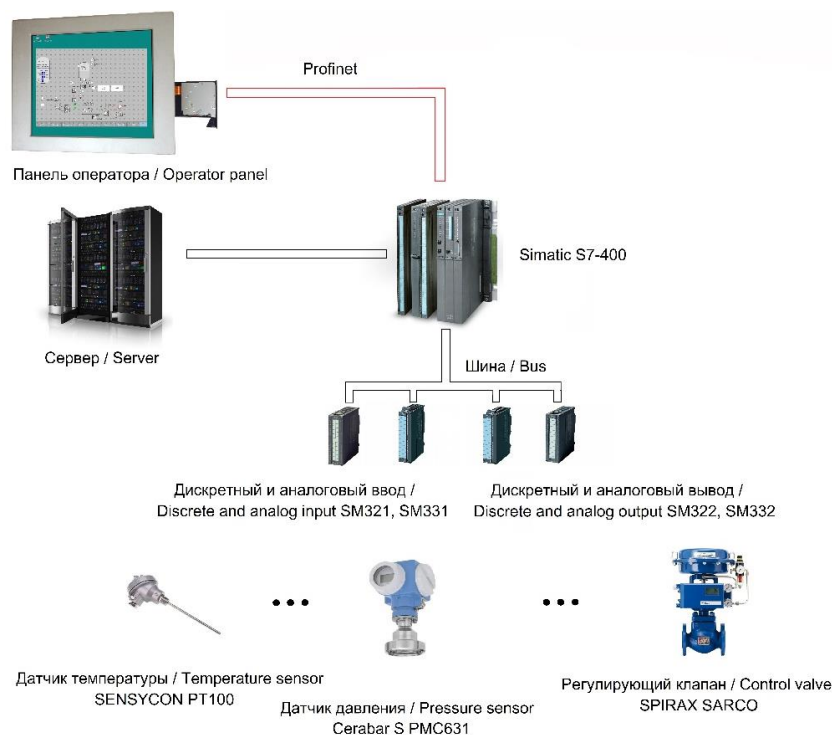


Рисунок 1. Схема комплекса технических средств ЦСУ
Figure 1. Diagram of the complex of technical means of the DCS

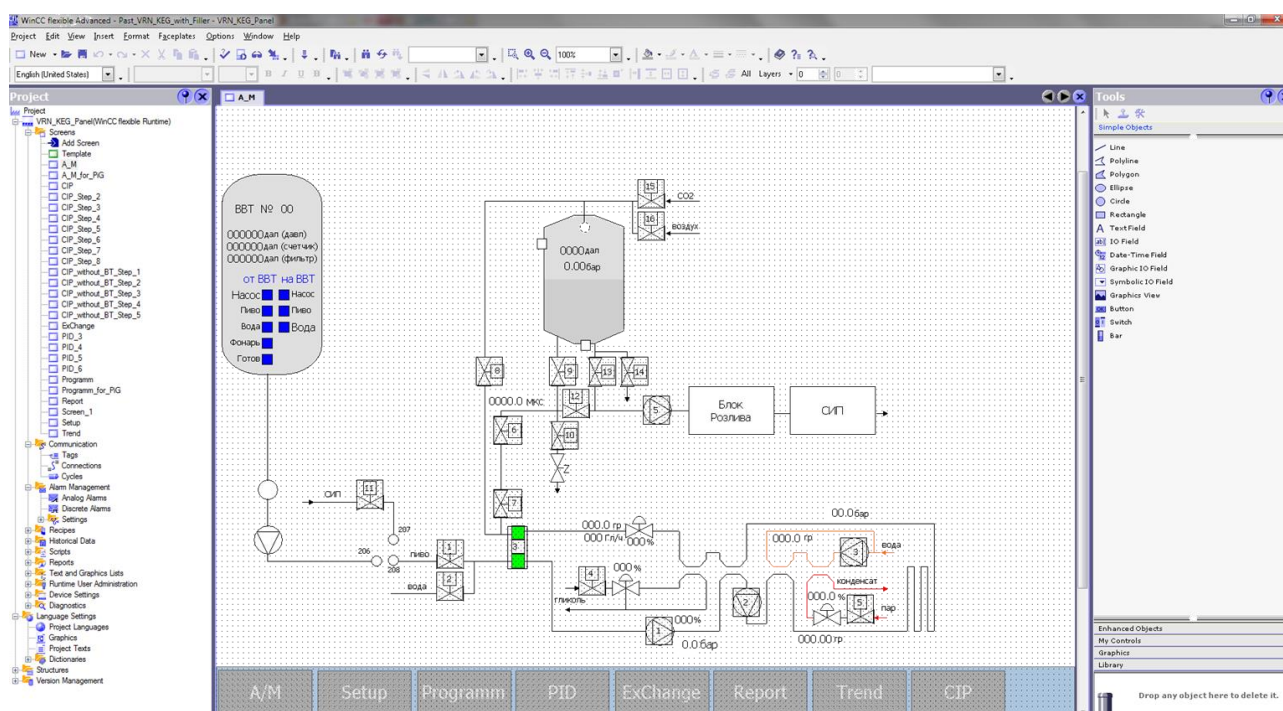


Рисунок 2. Фрагмент программы по разработке АРМ оператора
Figure 2. Fragment of the program for the development of an automated operator workstation

В результате применения одноконтурных схем регулирования температуры пива (по отклонению) возникают колебания температуры до 3–8 °С, т. к. не учитывается изменение давления греющего пара в процессе пастеризации. Колебания температуры негативно влияют на вкусовые качества пива.

Предлагается для управления процессом пастеризации реализовать комбинированную систему регулирования температуры пива (на выходе из секции пастеризации) с компенсацией возмущений по давлению пара в трубопроводе подачи теплоносителя [9].

Для синтеза алгоритма цифрового комбинированного управления проведена идентификация дискретных динамических моделей канала регулирования (“расход греющего пара – температура пива на выходе из секции пастеризации”) и канала возмущения (“давление пара в трубопроводе подачи теплоносителя – температура пива на выходе из секции пастеризации”).

Идентификация моделей каналов выполнена по полученным экспериментальным данным на пастеризаторе с помощью метода наименьших квадратов (МНК) [16].

Для расчета настроек цифровых ПИД-регулятора и компенсатора по каналам регулирования и возмущения применен численный метод оптимизации (метод покоординатного спуска) [16].

Сначала рассчитаны настройки ПИД-регулятора температуры пива в составе одноконтурной схемы по дискретной динамической модели объекта (по каналу “расход греющего пара – температура пива на выходе из секции пастеризации”). Затем выполнен расчет ПИД-компенсатора давления пара в составе цифровой комбинированной системы управления (длительность такта квантования сигналов i при моделировании составила 1 с).

Комбинированная ЦСУ описана следующей системой конечно-разностных уравнений:

$$\begin{aligned} u_i &= u_{i-1} + q_0(y_i^3 - y_i^\Sigma) + q_1(y_{i-1}^3 - y_{i-1}^\Sigma) + \\ &+ q_2(y_{i-2}^3 - y_{i-2}^\Sigma), \\ u_{ki} &= q_0^x(-x_i) + q_1^x(-x_{i-1}) + q_2^x(-x_{i-2}), \\ u_{\Sigma i} &= u_i + u_{ki}, \\ y_{i+d+1} &= a_1 y_{i+d} + a_2 y_{i+d-1} + b u_{\Sigma i}, \\ y_{i+dx+1}^x &= a_1^x y_{i+dx}^x + b^x x_i, \\ y_{i+\bar{d}+1}^\Sigma &= y_{i+\bar{d}+1} + y_{i+\bar{d}+1}^x, \end{aligned} \quad (2)$$

где u_i, u_{ki} – управляющие воздействия (расход греющего пара, т/ч) от цифровых ПИД-регулятора и компенсатора на i – том такте квантования сигналов; q_0, q_1, q_2 и q_0^x, q_1^x, q_2^x – настройки ПИД-регулятора и компенсатора в дискретной форме; y_i^3 – задание (уставка) по температуре пива, °С; y_i^Σ – суммарный (измеряемый) выход объекта (температура пива, °С); x_i – возмущающее воздействие (давление пара в трубопроводе, кПа); $u_{\Sigma i}$ – суммарное управляющее воздействие; y_i, y_i^x – выходы моделей каналов регулирования и возмущения объекта (температура пива, °С); a_1, a_2, b, d и a_1^x, b^x, dx – параметры моделей объекта в дискретной форме, идентифицированные по экспериментальным данным; $\bar{d}$ – наименьшее число тактов чистого запаздывания из d и dx .

Оптимизация настроек q_0^x, q_1^x, q_2^x ПИД-компенсатора выполнена методом покоординатного спуска по критерию минимум интегрально-квадратичной ошибки:

$$S = \sum_{i=mc}^N (y_i^3 - y_i^\Sigma)^2, \quad (3)$$

где N – число тактов квантования, соответствующее времени регулирования; mc – переменная, принимающая наибольшее значение из порядков моделей объекта и регуляторов (компенсаторов); y_i^3 – задание (уставка) по температуре; y_i^Σ – суммарный выход объекта (температура пива, °С) на i – том такте.

После расчета динамических характеристик замкнутой комбинированной системы (2) и критерия S_0 (3) при начальных заданных настройках компенсатора q_0^x, q_1^x, q_2^x , по первой настройке q_0^x выполняется пробный шаг в двух направлениях $\pm h_0^1$ (на первой итерации приближения j рекомендуется величина пробного шага $h_0^1 = 0,01 \cdot q_0^x$). Вычисляются соответствующие значения критерия S_+ и S_- , которые затем сравниваются с начальным значением S_0 , и производится уточнение шага:

$$h_0^{j+1} = \begin{cases} k_1 \cdot h_0^j & \text{при } S_0^j \leq S_+^j \wedge S_0^j \leq S_-^j \\ k_2 \cdot h_0^j & \text{при } S_0^j > S_+^j \vee S_0^j > S_-^j \end{cases}, \quad (4)$$

где $0 < k_1 < 1, 1 < k_2 < 2$.

Затем осуществляется шаг по первой настройке q_0^x в направлении убывания критерия:

$$q_0^{x^{j+1}} = \begin{cases} q_0^{x^j} - h_0^{j+1} & \text{при } S_-^j < S_+^j \wedge S_-^j < S_0^j \\ q_0^{x^j} + h_0^{j+1} & \text{при } S_+^j < S_-^j \wedge S_+^j < S_0^j \end{cases}. \quad (5)$$

После этого аналогично выполняется шаг по второй настройке q_1^x и т. д.

Расчет считается законченным, когда величина шага по каждой настройке становится меньше заранее заданной величины ε , которая характеризует окрестность определения оптимума критерия:

$$h_k^j < \varepsilon, \quad k = \overline{1, 3}, \quad (6)$$

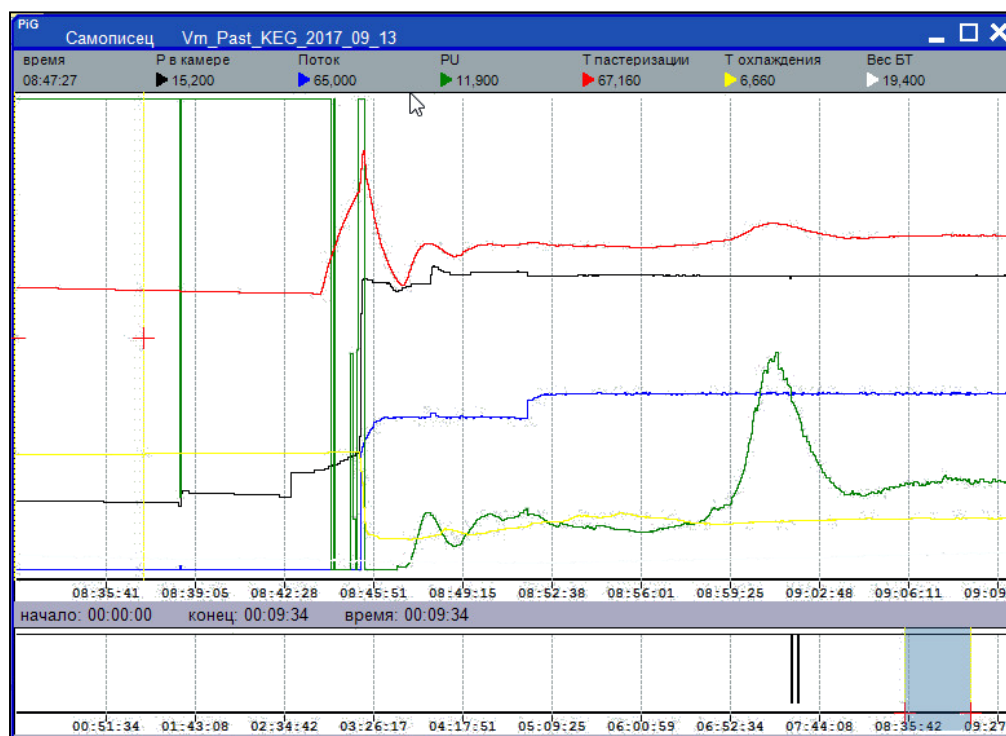
где ε – заданная точность определения оптимума критерия ($\varepsilon = 0,0001 \div 0,001$).

В процессе оптимизации настроек ПИД-компенсатора в дискретной форме соблюдались ограничения для пересчета настроек в непрерывную форму (1) [16].

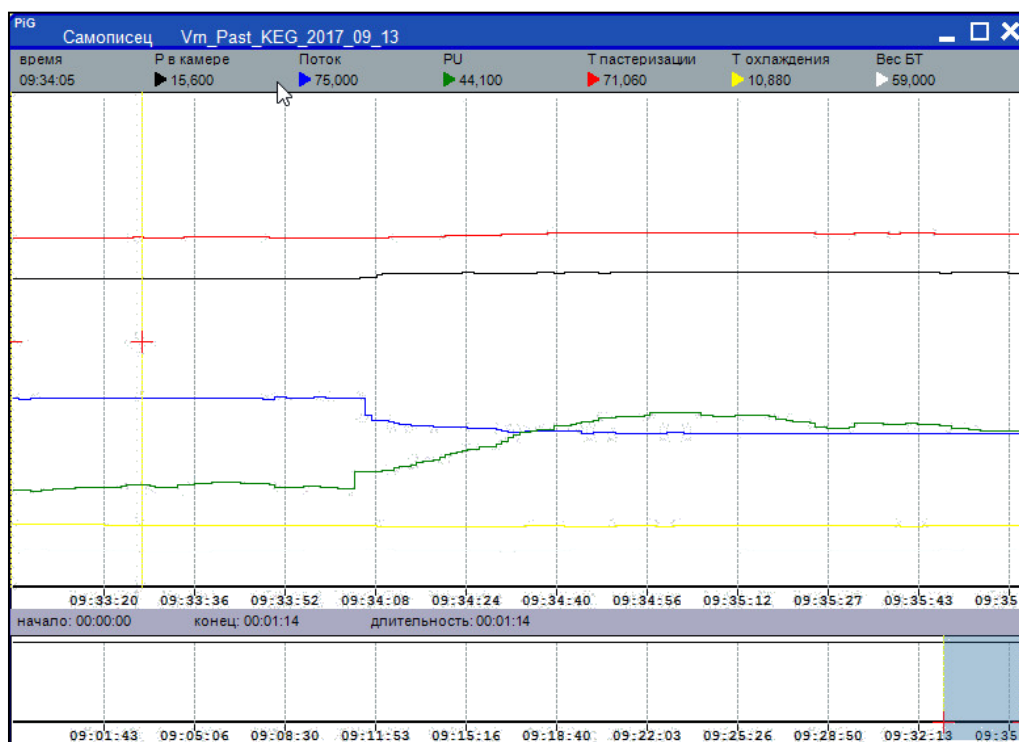
В результате оптимизации рассчитаны настройки ПИД-регулятора и компенсатора в комбинированной системе управления

температурой пива (в процессе пастеризации) с компенсацией возмущений по давлению пара в трубопроводе подачи теплоносителя.

Проведены исследования синтезированного алгоритма цифрового комбинированного управления (рисунок 3).



(a)



(b)

Рисунок 3. Тренды технологических параметров процесса пастеризации пива: (a) при одноконтурном регулировании температуры пива, °C (красная линия); (b) при комбинированном регулировании температуры пива, °C (красная линия) с компенсацией возмущений по давлению греющего пара в трубопроводе, кПа

Figure 3. Trends in technological parameters of the beer pasteurization process: (a) with single-loop beer temperature control, °C (red line); (b) with combined beer temperature control, °C (red line) with compensation of disturbances in the pressure of heating steam in the pipeline, kPa

Заключение

Для модернизации ЦСУ процессом пастеризации пива для ООО «Пивоваренная компания «Балтика» – «Воронежский пивзавод» проведён анализ процесса и оборудования как объекта управления, предложена структура системы управления, разработана документация для реализации системы, выбраны современные технические средства автоматизации, выполнен монтаж и настройка приборов. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение системы управления. В частности, в среде среда WinCC реализовано АРМ оператора пастеризационной установки для сенсорной панели IEI PPC-5190A, а также разработана управляющая программа регулирования параметров процесса

при пастеризации пива для контроллера SIMATIC S7-400 (программирование контроллера выполнено в среде Step7). Для управления процессом пастеризации предложено реализовать схему комбинированного регулирования температуры пива (расходом пара) с компенсацией возмущения по давлению греющего пара в трубопроводе. Выполнен синтез комбинированной ЦСУ и проведены модельные эксперименты, которые показали, что применение данного алгоритма значительно снижает колебание температуры пива при пастеризации. Для синтеза алгоритма применялись авторские программы идентификации дискретных динамических моделей каналов объекта и оптимизации настроек цифровых ПИД-регуляторов и компенсаторов. Система управления процессом введена в эксплуатацию.

Литература

- 1 Белкина Р.И., Губанов В.М., Губанов М.В. Технология производства солода, пива и спирта. Лань, 2021. 104 с.
- 2 Жигалова Е. С., Копарулина А. Е. Обзор технологического оборудования для производства светлого пива // Молодежь и наука. Биотехнологии и пищевая промышленность. 2021. С. 55-60.
- 3 Лопатова Н. Л. Основы пивоваренного производства // Аграрное образование и наука. 2022. № 2. С. 7.
- 4 Carvalho G. Leite A. C., Leal R., Pereira R. The role of emergent processing technologies in beer production // Beverages. 2023. V. 9. № 1. P. 7.
- 5 Щербина И.И. Разработка системы автоматического управления процессом пастеризации пива // Молодой ученый. 2018. № 26 (212). С. 62–66.
- 6 Муравитский А. Автоматизация полного цикла пивоварения / Автоматизация и производство. 2022. № 1 (52). С. 20–22.
- 7 Ogawa M., Henmi Y. Recent Developments on PC+PLC based Control Systems for Beer Brewery Process Automation Applications. International Joint Conference SICE-ICASE. Busan, Korea (South). 2006. P. 1053–1056.
- 8 Singh P., Pandey V.K., Singh R., Negi P. et al. Substantial Enhancement of Overall Efficiency and Effectiveness of the Pasteurization and Packaging Process Using Artificial Intelligence in the Food Industry // Food and Bioprocess Technology. 2025. V. 18. № 2. P. 1125–1140. doi:10.1007/s11947-024-03527-5
- 9 Алексеев М.В., Кудряшов В.С., Устиненко И.А. Автоматизация участка пастеризации в производстве пива. Материалы LXII отчетной науч. конф. преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2023 год. В 3 ч. Ч. 2. Воронеж: ВГУИТ, 2024. С. 58.
- 10 WinCC flexible 2005 Компактная\Стандартная\Расширенная. Руководство пользователя. Siemens AG, 2005. 146 с.
- 11 Das R., Dutta S., Sarkar A., Samanta K. et al. Automation of tank level using Plc and establishment of Hmi by Scada. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) 7.2, 2013. P. 61–67.
- 12 Программирование с помощью STEP 7 V5.3: Руководство. Siemens AG, 2004. 602 с.
- 13 Zamzow A. TIA Portal V16: Grundkurs. Vogel Communications Group, 2022. 290 p.
- 14 Hollender M. Collaborative process automation systems. ISA, 2010. 408 p.
- 15 Kaltjob P.O. Mechatronic Systems and Process Automation: Model-Driven Approach and Practical Design Guidelines. CRC Press, 2018. 467 p.
- 16 Кудряшов В.С., Алексеев М.В., Иванов А.В. Синтез цифровых систем управления технологическими объектами. Воронежский государственный университет инженерных технологий. Воронеж: ВГУИТ, 2024. 455 с.
- 17 Milani E. A., Silva F. V. M. Pasteurization of beer by non-thermal technologies // Frontiers in Food Science and Technology. 2022. V. 1. P. 798676.
- 18 Байгузин Т. Р., Девяткина Ю. С., Остапенко А. Е. Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом пастеризации пива // Научный редактор. 2024. С. 14.
- 19 Filios G., Kyriakopoulos A., Livanios S., Manolopoulos F. et al. Data-driven soft sensing towards quality monitoring of industrial pasteurization processes // 2022 18th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS). IEEE, 2022. P. 167-174.
- 20 Jha A., Moses J. A., Anandharamakrishnan C. Optimizing beverage pasteurization using computational fluid dynamics // Preservatives and Preservation Approaches in Beverages. 2019. P. 237-271.

References

- 1 Belkina R.I., Gubanov V.M., Gubanov M.V. Technology of malt, beer and alcohol production. Lan, 2021. 104 p. (in Russian).
- 2 Zhigalova E. S., Kaporulina A. E. Review of technological equipment for the production of light beer // Youth and science. Biotechnologies and the food industry. 2021. pp. 55-60. (in Russian).
- 3 Lopatova N. L. Fundamentals of brewing production // Agricultural education and science. 2022. no. 2. pp. 7. (in Russian).
- 4 Carvalho G. Leite A. C., Leal R., Pereira R. The role of emergent processing technologies in beer production // Beverages. 2023.vol. 9, no. 1. pp. 7.
- 5 Shcherbina I.I. Development of an automatic control system for the beer pasteurization process // Young scientist. 2018. no. 26 (212). pp. 62–66. (in Russian).
- 6 Muravitsky A. Automation of the full cycle of brewing / Automation and production. 2022. no. 1 (52). pp. 20–22. (in Russian).
- 7 Ogawa M., Henmi Y. Recent Developments on PC+PLC based Control Systems for Beer Brewery Process Automation Applications. International Joint Conference SICE-ICASE. Busan, Korea (South). 2006. pp. 1053–1056.

- 8 Singh P., Pandey V.K., Singh R., Negi P. et al. Substantial Enhancement of Overall Efficiency and Effectiveness of the Pasteurization and Packaging Process Using Artificial Intelligence in the Food Industry // Food and Bioprocess Technology. 2025. vol. 18. no. 2. pp. 1125–1140. doi:10.1007/s11947-024-03527-5
- 9 Alekseev M.V., Kudryashov V.S., Ustinenok I.A. Automation of the pasteurization section in beer production. Proceedings of the LXII reporting scientific. conf. of teachers and research staff of VSUET for 2023. In 3 parts. Part 2. Voronezh: VSUET, 2024. pp. 58. (in Russian).
- 10 WinCC flexible 2005 Compact\Standard\Extended. User guide. Siemens AG, 2005. 146 p. (in Russian).
- 11 Das R., Dutta S., Sarkar A., Samanta K. et al. Automation of tank level using Plc and establishment of Hmi by Scada. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) 7.2, 2013. pp. 61–67.
- 12 Programming with STEP 7 V5.3: Manual. Siemens AG, 2004. 602 p. (in Russian).
- 13 Zamzow A. TIA Portal V16: Grundkurs. Vogel Communications Group, 2022. 290 p.
- 14 Hollender M. Collaborative process automation systems. ISA, 2010. 408 p.
- 15 Kaltjob P.O. Mechatronic Systems and Process Automation: Model-Driven Approach and Practical Design Guidelines. CRC Press, 2018. 467 p.
- 16 Kudryashov V.S., Alekseev M.V., Ivanov A.V. Synthesis of digital control systems for technological objects // Voronezh: VSUET, 2024. 455 p. (in Russian).
- 17 Milani E. A., Silva F. V. M. Pasteurization of beer by non-thermal technologies // Frontiers in Food Science and Technology. 2022. vol. 1. pp. 798676.
- 18 Baiguzin T. R., Devyatkina Yu.S., Ostapenko A. E. Development of an automated control system for the technological process of beer pasteurization // Scientific editor. 2024. pp. 14. (in Russian).
- 19 Filios G., Kyriakopoulos A., Livanios S., Manolopoulos F et al. Data-driven soft sensing towards quality monitoring of industrial pasteurization processes // 2022 18th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS). IEEE, 2022. pp. 167-174.
- 20 Jha A., Moses J. A., Anandharamakrishnan C. Optimizing beverage pasteurization using computational fluid dynamics //Preservatives and Preservation Approaches in Beverages. Academic Press, 2019. pp. 237-271.

Сведения об авторах

Михаил В. Алексеев к.т.н., доцент, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mwa1976@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7768-8550>

Владимир С. Кудряшов д.т.н., профессор, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kudryashovvs@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6237-0881>

Игорь А. Авцинов д.т.н., профессор, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, igor.awtznov@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2528-0905>

Александр Н. Гаврилов д.т.н., профессор, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ganivm@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0132-4563>

Андрей В. Иванов к.т.н., доцент, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, andrious@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6034-9672>

Иван А. Козенко к.т.н., доцент, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kosenko211986@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1508-9875>

Иван А. Устиненко магистрант, инженер, ООО «Пивоваренная компания «Балтика» – «Воронежский пивзавод», ул. 9 января, 109, г. Воронеж, 394027, Россия, ustinenok00@mail.ru

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Mikhail V. Alekseev Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Automated Control Systems for Processes and Productions, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, mwa1976@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7768-8550>

Vladimir S. Kudryashov Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Automated Control Systems for Processes and Productions, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, kudryashovvs@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6237-0881>

Igor A. Avtsinov Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Automated Control Systems for Processes and Productions, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, igor.awtznov@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2528-0905>

Alexander N. Gavrilov Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Automated Control Systems for Processes and Productions, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, ganivm@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0132-4563>

Andrey V. Ivanov Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Automated Control Systems for Processes and Productions, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, andrious@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6034-9672>

Ivan A. Kozenko Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Automated Control Systems for Processes and Productions, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, kosenko211986@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1508-9875>

Ivan A. Ustinenok graduate student, engineer, LLC «Baltika Brewing Company» - «Voronezh Brewery», 9 January str., 109, Voronezh, 394027, Russia, ustinenok00@mail.ru

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 04/02/2025	После редакции 27/02/2025	Принята в печать 12/03/2025
Received 04/02/2025	Accepted in revised 27/02/2025	Accepted 12/03/2025