

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ ELECTROTECHNICAL COMPLEXES AND SYSTEMS

Научная статья

УДК 681.516.32:621.165

DOI: 10.26730/1816-4528-2026-2-3-9

Лобур Ирина Анатольевна, Котляров Роман Витальевич

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: kotlyarovrv@kuzstu.ru

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СЕТЕВОЙ ВОДЫ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ



Информация о статье

Поступила:

27 января 2026 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 марта 2026 г.

Принята к печати:

15 апреля 2026 г.

Опубликована:

04 июня 2026 г.

Ключевые слова:

Система автоматического регулирования температуры, одноконтурная система автоматического регулирования, каскадная система автоматического регулирования, показатели качества регулирования, паровая турбина, моделирование, SciLAB

Аннотация.

Разработка и внедрение систем автоматического регулирования основных технологических параметров паровой турбины позволяет повысить ее производительность, снизить риски аварий и поломок, поэтому является актуальной научно-практической задачей. Основными технологическими параметрами паровой турбины, подлежащими измерению, контролю и регулированию, являются температуры в различных точках турбоагрегата. В статье технологическим объектом управления является подогреватель сетевой горизонтально-го типа и трубопровод греющего пара, поступающего в подогреватель. Регулируемым технологическим параметром выбрана температура сетевой воды на выходе подогревателя. На основании математической модели объекта управления в виде передаточной функции выполнен расчет параметров автоматического регулятора в составе одноконтурной системы автоматического регулирования температуры. Выполнено моделирование одноконтурной системы автоматического регулирования стандартными средствами программы SciLAB. Определены прямые показатели качества регулирования. В результате сравнения прямых показателей качества регулирования с их допустимыми значениями установлено, что одноконтурная система автоматического регулирования не справляется с регулированием температуры сетевой воды. На основании математических моделей опережающего и инерционного участков объекта управления в виде передаточных функций выполнен расчет параметров ведущего и ведомого автоматических регуляторов в составе многоконтурной каскадной системы автоматического регулирования температуры. Выполнено моделирование каскадной системы автоматического регулирования стандартными средствами программы SciLAB. Определены прямые показатели качества регулирования. В результате сравнения прямых показателей качества регулирования с их допустимыми значениями установлено, что каскадная система автоматического регулирования справляется с регулированием температуры сетевой воды и характеризуется достаточным запасом устойчивости.

Для цитирования: Лобур И.А., Котляров Р.В. Разработка системы автоматического регулирования температуры сетевой воды паровой турбины // Горное оборудование и электромеханика. 2026. № 2 (184). С. 3-9. DOI: 10.26730/1816-4528-2026-2-3-9, EDN: CZSINR

Введение

Автоматизация паровой турбины в условиях ТЭЦ является критически важным аспектом обеспечения ее эффективной и безопасной эксплуатации. Современные турбины являются сложными машинами, которые работают в экстремальных условиях высоких температур, давлений и скоро-

стей вращения, поэтому применение автоматизации позволяет не только улучшить производительность, но и значительно снизить риски аварий и поломок. Основные задачи автоматизации турбоагрегата включают мониторинг и управление ключевыми параметрами, такими как скорость вращения роторов, температура в различных точках системы, дав-

ление пара или газа и уровень вибраций. Современные системы автоматизации строятся на основе датчиков и исполнительных механизмов, которые собирают данные в реальном времени и позволяют оператору принимать обоснованные решения для оптимизации работы паровой турбины. Центральным элементом системы автоматизации является программно-аппаратный комплекс, который осуществляет сбор, обработку и анализ данных, а также генерацию управляющих воздействий на оборудование. В зависимости от сложности объекта и требований эксплуатации такие комплексы могут быть реализованы на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК), распределенных систем управления или специализированных промышленных компьютеров [1, 3].

Особое внимание в автоматизации паровой турбины уделяется системам автоматического регулирования, которые должны в реальном времени стабилизировать важные технологические параметры – частоту вращения турбины, давление пара на теплофикационный отбор, температуру сетевой воды на выходе подогревателей и пр. Внедрение современных систем автоматического регулирования повышает точность стабилизации технологических параметров, что приводит к значительному снижению эксплуатационных затрат за счет уменьшения внеплановых простоев, увеличения срока службы оборудования и повышения общей эффективности производственного процесса производства пара и горячей воды [9].

Методы (Methods)

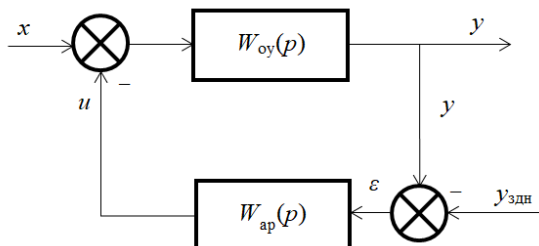


Рис. 1. Структурная схема одноконтурной САР температуры сетевой воды.

y – регулируемый параметр – температура, °С;
 $y_{здн}$ – заданное значение температуры, °С;
 ε – сигнал рассогласования, °С; u – управляющее воздействие – положение регулирующего органа на трубопроводе пара, %х.р.о.; x – максимальное управляющее воздействие, %х.р.о.;

$W_{oy}(p)$ – передаточная функция объекта управления; $W_{ap}(p)$ – передаточная функция автоматического регулятора

Fig. 1. Block diagram of a single-circuit ACS for network water temperature:

y – controlled parameter – temperature, °С;
 $y_{здн}$ – temperature set point, °С; ε – error signal, °С;
 u – control action – position of the regulator on the steam pipeline, %x.p.o.; x – maximum control action, %x.p.o.; $W_{oy}(p)$ – transfer function of the control object; $W_{ap}(p)$ – transfer function of automatic controller

Технологическим объектом управления является подогреватель сетевой горизонтального типа (ПСГ) и трубопровод греющего пара, поступающего в подогреватель [4, 12]. Регулируемым технологическим параметром является температура сетевой воды на выходе ПСГ [14].

Наиболее простым вариантом системы автоматического регулирования (САР) температуры сетевой воды на выходе теплообменника является одноконтурная САР (Рис. 1) [11].

Одна из особенностей процесса нагрева сетевой воды заключается в том, что корпус ПСГ имеет большой объем и содержит большое количество воды, которое обладает емкостью, позволяющей сохранять большое количество теплоты. Если температура воды на входе в ПСГ изменится, эти изменения проявятся на его выходе со значительным запаздыванием [4].

Другая важная особенность процесса нагрева сетевой воды состоит в том, что паровые трубы оказывают сопротивление передаче теплоты от пара внутри труб к воде снаружи труб, т. е. присутствует запаздывание между изменениями в потоке пара и соответствующими изменениями температуры воды [11, 12].

Указанные особенности процесса приводят к тому, что изменение температуры воды будет медленным, и потребуются длительное время, прежде чем контур регулирования сможет считывать, насколько температура воды изменилась. К этому времени могут произойти значительные изменения температуры воды. В результате одноконтурная САР вырабатывает избыточно сильное управляющее воздействие, что может привести к отклонению в противоположную сторону (перерегулированию).

В связи с медленной реакцией САР температура воды может циклически колебаться в течение продолжительного времени, прежде чем придет к устойчивому состоянию – значению уставки.

Переходной процесс САР улучшается, когда система дополняется вторым контуром каскадного регулирования. Структурная схема каскадной САР показана на Рис. 2.

Передаточные функции опережающего и инерционного участка имеют вид (1) и (2):

$$W_{оп}(p) = \frac{k_{оп}}{T_{оп}p + 1} \cdot e^{-\tau_{оп}p}, \quad (1)$$

$$W_{ин}(p) = \frac{k_{ин}}{T_{ин}^2p^2 + 1} \cdot e^{-\tau_{ин}p}, \quad (2)$$

где $k_{оп}$ и $k_{ин}$ – коэффициенты усиления;
 $T_{оп}$ и $T_{ин}$ – постоянные времени, мин;
 $\tau_{оп}$ и $\tau_{ин}$ – времена запаздывания, мин.

В этом случае общая передаточная функция объекта управления запишется в виде (3):

$$W_{oy}(p) = W_{оп}(p) \cdot W_{ин}(p) = \frac{k_{оп}k_{ин}}{(T_{оп}p + 1)(T_{ин}^2p^2 + 1)} \cdot e^{-(\tau_{оп} + \tau_{ин})p} \quad (3)$$

Передаточная функция автоматического регулятора записана в виде (4):

$$W_{ap}(p) = k_p + \frac{k_i}{p} + k_d \cdot p, \quad (4)$$

где k_p , k_i и k_d – коэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих ПИД-регулятора соответственно.

Результаты исследования (Results)

В условиях АО «Ново-Кемеровская ТЭЦ» получены следующие значения параметров передаточных функций:

$$k_{оп} = 0,4 \text{ МПа/\%х.р.о.}; k_{ин} = 5 \text{ }^\circ\text{С/\%х.р.о.};$$

$$T_{оп} = 1,5 \text{ мин}; T_{ин} = 7,2 \text{ мин};$$

$$\tau_{оп} = 0,2 \text{ мин}; \tau_{ин} = 1,2 \text{ мин.}$$

Передаточные функции (1), (2) и (3) с учетом значений параметров (5), (6) и (7):

$$W_{оп}(p) = \frac{0,4}{1,5 \cdot p + 1} \cdot e^{-0,2p}, \quad (5)$$

$$W_{ин}(p) = \frac{5}{7,2 \cdot p + 1} \cdot e^{-1,2p}, \quad (6)$$

$$W_{оу}(p) = \frac{2}{10,8 \cdot p^2 + 8,7 \cdot p + 1} \cdot e^{-1,4p} \quad (7)$$

По передаточной функции объекта управления (7) определены параметры настройки автоматического регулятора одноконтурной САР методом Циглера-Никольса (Таблица 1) [7, 8, 17].

Обсуждение (Discussion)

Моделирование работы одноконтурной САР выполнено стандартными средствами программы SciLAB (Рис. 3, а) [2, 13, 15, 16].

Графики переходных процессов одноконтурной САР показаны на Рис. 4.

Анализ показателей качества регулирования одноконтурной САР (Таблица 2) показывает, что САР с ПИ-регулятором не справляется с регулированием, т. к. расчетное значение динамической ошибки больше допустимого [5, 6, 10].

Таблица 1. Параметры настройки регулятора одноконтурной САР

Table 1. Single-circuit ACS controller settings

Закон регулирования	Параметры настройки регулятора		
	k_p	k_i	k_d
ПИ	1,575	0,21	0
ПИД	2,1	0,47	2,36

Таблица 3. Параметры настройки регуляторов каскадной САР

Table 3. Cascade ACS controllers settings

Регулятор	Закон регулирования	Параметры настройки регулятора		
		k_p	k_i	k_d
ведущий	ПИ	1,575	0,21	0
ведомый	П	0,5	0	0

Таблица 2. Сравнительный анализ показателей качества регулирования

Table 2. Comparative analysis of regulatory quality indicators

Показатель качества регулирования	Допустимое значение	Расчетные значения		
		ПИ-закон регулирования	ПИД-закон регулирования	каскадная САР
динамическая ошибка	4,5 $^\circ\text{С}$	6,5 $^\circ\text{С}$	4,5 $^\circ\text{С}$	1,9 $^\circ\text{С}$
время регулирования	10 мин	6,7 мин	4,6 мин	6,7 мин
перерегулирование	30 %	7,7 %	11,1 %	-

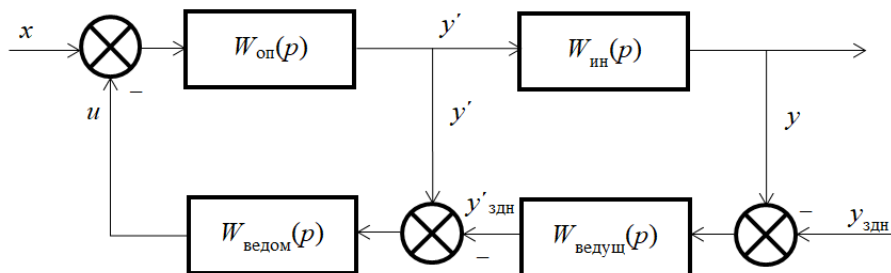


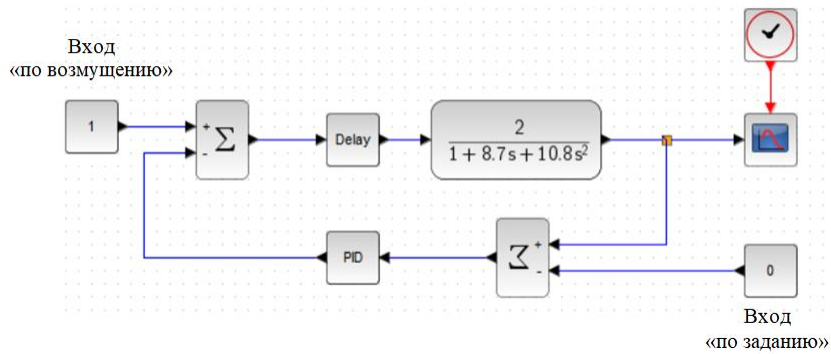
Рис. 2. Структурная схема каскадной САР температуры сетевой воды:

y – основной регулируемый параметр – температура, $^\circ\text{С}$; $y_{здн}$ – заданное значение температуры, $^\circ\text{С}$; y' – вспомогательный регулируемый параметр – давление пара, МПа; $y'_{здн}$ – заданное значение давления пара, МПа; u – управляющее воздействие – положение регулирующего органа на трубопроводе пара, $\% \text{х.р.о.}$; x – максимальное управляющее воздействие, $\% \text{х.р.о.}$; $W_{оп}(p)$ – передаточная функция опережающего участка объекта управления; $W_{ин}(p)$ – передаточная функция инерционного участка объекта управления; $W_{ведущ}(p)$ – передаточная функция ведущего автоматического регулятора температуры;

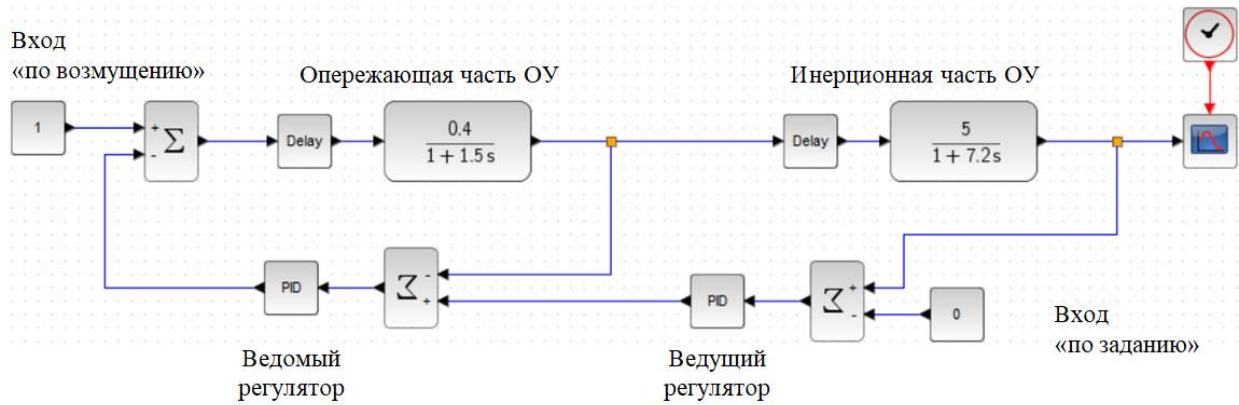
$W_{ведом}(p)$ – передаточная функция ведомого автоматического регулятора давления

Fig. 2. Block diagram of a cascade ACS for network water temperature:

y – controlled parameter – temperature, $^\circ\text{С}$; $y_{здн}$ – temperature set point, $^\circ\text{С}$; y' – auxiliary controlled parameter – steam pressure, МПа; $y'_{здн}$ – pressure set point, МПа; u – control action – position of the regulator on the steam pipeline, $\% \text{х.р.о.}$; x – maximum control action, $\% \text{х.р.о.}$; $W_{оп}(p)$ – transfer function of the leading section of the control object; $W_{ин}(p)$ – transfer function of the inertial section of the control object; $W_{ведущ}(p)$ – transfer function of the leading automatic temperature controller; $W_{ведом}(p)$ – transfer function of the slave automatic pressure controller



а



б

Рис. 3. Моделирование САУ в программе SciLAB:
 а – одноконтурная САУ; б – каскадная САУ
 Fig. 3. Simulation of ACS in SciLAB program:
 а – single-circuit ACS; б – cascade ACS

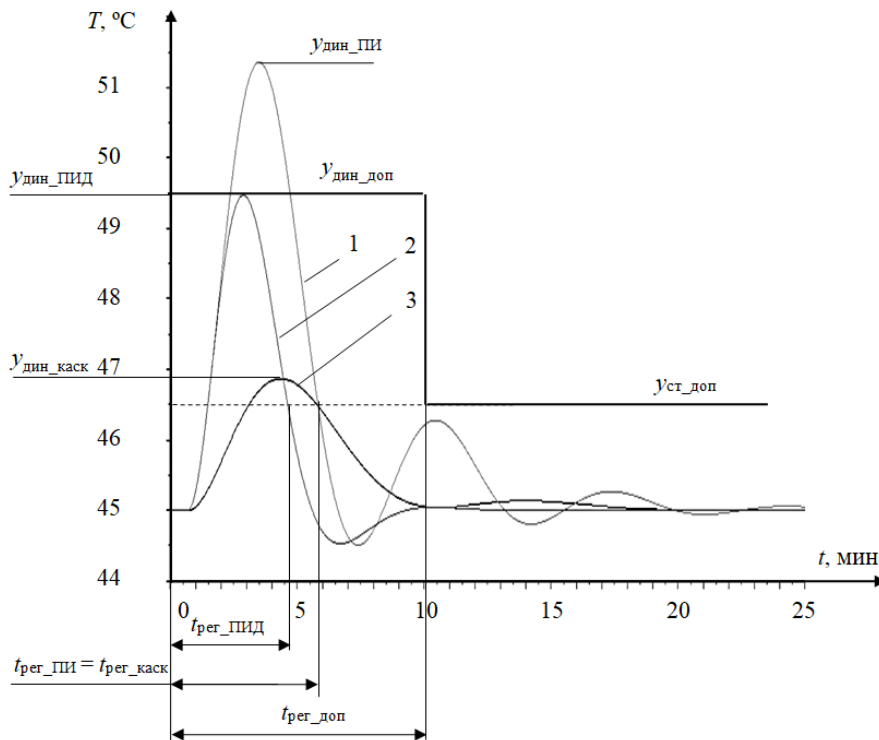


Рис. 4. Графики переходных процессов одноконтурной и каскадной САУ: 1 – ПИ-закон регулирования одноконтурной САУ; 2 – ПИД-закон регулирования одноконтурной САУ; 3 – каскадная САУ
 Fig. 4. Graphs of transient processes of a single-circuit and cascade ACS: 1 – PI-controller of a single-circuit ACS; 2 – PID controller of a single-circuit automatic control system; 3 – cascade ACS

Расчетное значение динамической ошибки САР с ПИД-законом регулирования не превышает допустимого значения, однако не имеет запаса устойчивости.

Для повышения качества регулирования необходимо провести расчет и анализ многоконтурной каскадной САР [8]. Параметры настройки ведущего и ведомого регуляторов показаны в Таблице 3.

Моделирование работы одноконтурной САР выполнено стандартными средствами программы SciLAB (Рис. 3, б).

Значения прямых показателей качества регулирования каскадной САР не выходят за допустимые пределы (Таблица 2).

Выводы (Conclusion)

Система автоматического регулирования теплофикационного отбора представляет собой контур каскадного регулирования, где ведущим параметром является температура сетевой воды, а ведомым параметром – давление пара перед подогревателем сетевой воды.

Расчет и анализ показателей качества регулирования каскадной САР позволяет утверждать, что каскадная САР справляется с регулированием температуры сетевой воды и характеризуется достаточным запасом устойчивости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимжанова З. Х., Кузнецов А. Е. Опыт внедрения систем промышленной автоматизации на объектах Башкирской генерирующей компании // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2024. № 4(177). С. 46–51.
2. Богун В. В. Реализация лабораторного практикума по основам математического анализа с применением пакета прикладных программ Scilab // Continuum. Математика. Информатика. Образование. 2021. № 1(21). С. 29–39. DOI: 10.24888/2500-1957-2021-1-29-39.
3. Гармаш Ю. В. Электронные измерители температуры в технических системах управления // Научный резерв. 2025. № 1(29). С. 17–24.
4. Григорьева Т. А., Сухарькова Н. П. Разработка и моделирование системы автоматического регулирования температуры гидрогенератора // Системы. Методы. Технологии. 2025. № 2(66). С. 70–77. DOI: 10.18324/2077-5415-2025-2-70-77.
5. Данькина Г. Б., Осипова В. А. Компьютерное моделирование системы автоматического регулирования технологическим параметром // Мехатроника, автоматика и робототехника. 2023. № 11. С. 139–142. DOI: 10.26160/2541-8637-2023-11-139-142.

6. Егоров К. В. Моделирование системы управления технологическим процессом разделения воздуха // NovaInfo.Ru. 2021. № 122. С. 6–9.

7. Интанкина Е. ПИД-регуляторы в современных автоматизированных системах управления технологическими процессами // Водные и земельные ресурсы. 2023. № S5. С. 66–72.

8. Ковалев Д. А., Шаряков В. А., Шарякова О. Л., Лебедева В. А. Аналитическая настройка регуляторов в каскадной системе автоматического регулирования // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2022. № 4. С. 137–144. DOI: 10.46418/2079-8199_2022_4_20.

9. Мин А. В. Автоматизация систем мониторинга и диагностики конденсаторов паровых турбин // Студенческий. 2022. № 16–7(186). С. 5–10.

10. Мотченко М. С., Медведева Л. И. Моделирование системы управления технологическим процессом подготовки питательной и сетевой воды // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2021. № 3(140). С. 14–16.

11. Насиров М. Б. Способы регулирования температуры в системах автоматического управления // Студенческий. 2021. № 40–3(168). С. 90–92.

12. Сухонослова Т. Г., Нугаманов А. А., Емельянов С. А. Система автоматического регулирования температуры выходного пара пароперегревательной установки // Автоматизированные технологии и производства. 2025. № 1(31). С. 3–6.

13. Финогенов О. А. Работа с математическими моделями в Scilab // Студенческий. 2021. № 20–2(148). С. 16–18.

14. Эм Г. А., Отан Ж. О., Саинов Е. С. Разработка принципиальной схемы автоматизированной системы регулирования температуры перегретого пара // Universum: технические науки. 2022. № 3–1(96). С. 38–40.

15. Godlewski M., Rogowski K. Data Acquisition and Control System Based on Scilab Software Environment // Pomiar Automatyka Robotyka. 2022. Vol. 26. № 3. Pp. 49–55. DOI: 10.14313/par_245/49.

16. Kumar Naik B. Solution for Simple Classical Systems Using SCILAB // The Physics Educator. 2022. Vol. 04. № 03. DOI: 10.1142/s2661339522500147.

17. Olana F. D., Abose T. A. PID Temperature Controller Design for Shell and Tube Heat Exchanger // International Journal of Engineering and Manufacturing. 2021. Vol. 11. № 1. Pp. 37–46. DOI: 10.5815/ijem.2021.01.05.

© 2026 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Лобур Ирина Анатольевна, доцент кафедры электропривода и автоматизации, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат технических наук, e-mail: loburia@kuzstu.ru

Котляров Роман Витальевич, доцент кафедры электропривода и автоматизации, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат технических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4152-8149>, e-mail: kotlyarovrv@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Лобур Ирина Анатольевна – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования.

Котляров Роман Витальевич – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2026-2-3-9

Irina A. Lobur, Roman V. Kotlyarov*

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: kotlyarovrv@kuzstu.ru

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR AUTOMATIC CONTROL OF STEAM TURBINE NETWORK WATER TEMPERATURE



Article info

Received:

27 January 2025

Accepted for publication:

15 March 2026

Accepted:

15 April 2026

Published:

04 June 2026

Keywords: automatic temperature control system, single-circuit automatic control system, cascade automatic control system, control quality indicators, steam turbine, simulation, SciLAB

Abstract.

The development and implementation of automatic control systems for the main technological parameters of a steam turbine makes it possible to increase its productivity, reduce the risks of accidents and breakdowns, and therefore is an urgent scientific and practical task. The main technological parameters of a steam turbine that are subject to measurement, control and regulation are temperatures at various points of the turbine unit. In the article, the technological control object is a horizontal network heater and a heating steam pipeline entering the heater. The temperature of the network water at the heater outlet is selected as an adjustable technological parameter. Based on the mathematical model of the control object in the form of a transfer function, the parameters of the automatic controller as part of a single-circuit automatic temperature control system were calculated. Simulation of a single-circuit automatic control system was carried out using standard tools of the SciLAB program. Direct indicators of the quality of regulation have been determined. As a result of comparing direct indicators of the quality of regulation with their permissible values, it was established that a single-circuit automatic control system cannot cope with regulating the temperature of network water. Based on mathematical models of the leading and inertial sections of the control object in the form of transfer functions, the parameters of the master and slave automatic controllers as part of a multi-circuit cascade automatic temperature control system were calculated. A cascade automatic control system was modeled using standard SciLAB software. Direct indicators of the quality of regulation have been determined. As a result of comparing direct indicators of the quality of regulation with their permissible values, it was established that the cascade automatic control system copes with regulating the temperature of network water and is characterized by a sufficient margin of stability.

For citation: Lobur I.A., Kotlyarov R.V. Development of a system for automatic control of steam turbine network water temperature. Mining Equipment and Electromechanics, 2026; 2(184):3-9 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2026-2-3-9, EDN: CZSINR

REFERENCES

1. Alimzhanova Z.X., Kuznecov A.E. Opyt vnedreniya sistem promyshlennoj avtomatizacii na ob'ektah Bashkirskoj generiruyushhej kompanii. *Avtomatizaciya i IT v e'nergetike*. 2024; 4(177):46–51.
2. Bogun V.V. Realizaciya laboratornogo praktikuma po osnovam matematicheskogo analiza s primeneniem paketa prikladny'h programm Scilab. *Continuum. Matematika. Informatika. Obrazovanie*. 2021; 1(21):29–39. DOI: 10.24888/2500-1957-2021-1-29-39.
3. Garmash Yu.V. E'lektronny'e izmeriteli temperatury v tehniceskikh sistemah upravleniya. *Nauchnyj rezerv*. 2025; 1(29):17–24.
4. Grigor'eva T.A., Suhar'kova N.P. Razrabotka i modelirovanie sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya temperatury gidrogeneratora. *Sistemy. Metody. Tehnologii*. 2025; 2(66):70–77. DOI: 10.18324/2077-5415-2025-2-70-77.
5. Dany'kina G.B., Osipova V.A. Komp'yuternoe modelirovanie sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya tehnologicheskim parametrom. *Mehatronika, avtomatika i robototekhnika*. 2023; 11:139–142. DOI: 10.26160/2541-8637-2023-11-139-142.
6. Egorov K.V. Modelirovanie sistemy upravleniya tehnologicheskim processom razdeleniya vozduha. *NovaInfo.Ru*. 2021; 122:6–9.
7. Intankina E. PID-regulyatory v sovremenny'h avtomatizirovanny'h sistemah upravleniya tehnologicheskimi processami. *Vodny'e i zemel'ny'e resursy*. 2023; S5:66–72.
8. Kovalev D.A., Sharyakov V.A., Sharyakova O.L., Lebedeva V.A. Analiticheskaya nastrojka regulyatorov v kaskadnoj sisteme avtomaticheskogo regulirovaniya. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tehnologii i dizajna. Seriya 1: Estestvenny'e i tehniczeskie nauki*. 2022; 4:137–144. DOI: 10.46418/2079-8199_2022_4_20.
9. Min A.V. Avtomatizaciya sistem monitoringa i diagnostiki kondensatorov parovy'h turbin. *Studencheskij*. 2022; 16–7(186):5–10.
10. Motchenko M.S., Medvedeva L.I. Modelirovanie sistemy upravleniya tehnologicheskim processom podgotovki pitatel'noj i setевой vody. *Avtomatizaciya i IT v e'nergetike*. 2021; 3(140):14–16.
11. Nasirov M.B. Sposoby regulirovaniya temperatury v sistemah avtomaticheskogo upravleniya. *Studencheskij*. – 2021. – № 40-3(168). – S. 90-92.
12. Suhonosova T.G., Nugamanov A.A., Emel'yanov S.A. Sistema avtomaticheskogo regulirovaniya temperatury vyhodnogo para paroperegrevatel'noj ustanovki. *Avtomatizirovanny'e tehnologii i proizvodstva*. 2025; 1(31):3–6.
13. Finogenov O.A. Rabota s matematicheskimi modelyami v Scilab. *Studencheskij*. 2021; 20–2(148):16–18.
14. E'm G.A., Otan Zh. O., Sainov E.S. Razrabotka principial'noj shemy avtomatizirovannoj sistemy regulirovaniya temperatury peregretoho para. *Universum: tehniczeskie nauki*. 2022; 3–1(96):38–40.
15. Godlewski M., Rogowski K. Data Acquisition and Control System Based on Scilab Software Environment. *Pomiary Automatyka Robotyka*. 2022; 26(3):49–55. DOI: 10.14313/par_245/49.
16. Kumar Naik B. Solution for Simple Classical Systems Using SCILAB. *The Physics Educator*. 2022; 4(3). DOI: 10.1142/s2661339522500147.
17. Olana F.D., Abose T.A. PID Temperature Controller Design for Shell and Tube Heat Exchanger. *International Journal of Engineering and Manufacturing*. 2021; 11(1):37–46. DOI : 10.5815/ijem.2021.01.05.

© 2026 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Irina A. Lobur, C. Sc. (Engineering), Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Russia, Kemerovo, Str. Vesennaya, 28), C. Sc. (Engineering), e-mail: loburia@kuzstu.ru

Roman V. Kotlyarov, C. Sc. (Engineering), Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Russia, Kemerovo, Str. Vesennaya, 28), C. Sc. (Engineering), Docent, ORCID: <https://0000-0002-4152-8149>, e-mail: kotlyarovrv@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Irina A. Lobur – research problem statement, scientific management, conceptualisation of research.

Roman V. Kotlyarov – reviewing the relevant literature, data collection, data analysis, drawing the conclusions, writing the text.

Authors have read and approved the final manuscript.

