

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE BOILER PLANT AUTO-
MATION SYSTEM OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE**

Грибанов А.А., к.т.н., доцент

Лаврик А.А., магистрант

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

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

г. Воронеж, Россия

vgltaapp@mail.ru

Gribanov A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

Lavrik A.A., Master's student

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

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

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье оценивается эффективность системы автоматизации котельной установки промышленного предприятия, с фокусировкой на температуре насыщенного пара как ключевом параметре. Проведен анализ зависимости температуры пара от давления с использованием уравнения Антуана, позволяющего прогнозировать взаимосвязь между этими параметрами. Проведена оптимизация параметров регуляторов, что позволило повысить среднюю температуру пара в барабане котла на 3,4 °С, улучшив точность регулирования и сократив время переходных процессов. Результаты подтверждают повышение энергоэффективности котельной за счет увеличения энергии пара, улучшения теплопередачи и снижения расхода топлива. Разработанная модель в MatLab/Simulink и переходная характеристика подтверждают стабильность и надежность системы.

Summary: The paper evaluates the efficiency of the automation system of a boiler plant of an industrial enterprise, focusing on the saturated steam temperature as

a key parameter. The dependence of steam temperature on pressure is analyzed using Antoine's equation, which allows predicting the relationship between these parameters. Optimization of regulator parameters was carried out, which allowed to increase the average steam temperature in the boiler drum by 3.4 °C, improving the regulation accuracy and reducing the transient time. The results confirm the improvement of the energy efficiency of the boiler plant by increasing steam energy, improving heat transfer and reducing fuel consumption. The developed MatLab/Simulink model and transient response confirm the stability and reliability of the system

Ключевые слова: автоматизация котельной, температура насыщенного пара, система автоматизации, уравнение Антуана, эффективность, давление пара, снижение потребления топлива, стабильность работы.

Keywords: boiler room automation, saturated steam temperature, automation system, Antoine's equation, efficiency, steam pressure, reduction of fuel consumption, stability of operation.

Основным показателем для анализа эффективности АСУ котельной является температура насыщенного пара, поскольку она напрямую связана с производительностью и стабильностью работы котельной установки [1].

Известно, что насыщенный пар – это пар, находящийся в состоянии равновесия с жидкостью при данной температуре и давлении. Температура насыщенного пара может превышать 100°C, поскольку она напрямую зависит от давления. При атмосферном давлении (1 атм) вода закипает при 100°C, и образующийся пар также имеет эту температуру. Однако при повышении давления, например, в котельной установке, температура кипения воды и образования насыщенного пара увеличивается. Это связано с тем, что для поддержания состояния насыщенного пара при высоком давлении требуется больше тепла, что повышает его температуру. В ходе анализа реальных данных температуры пара до и после оптимизации регуляторов будет оцениваться улучшение точности поддержания температуры, снижение колебаний и уменьшение времени отклика системы [2].

Реальные данные, снятые датчиком температуры (термопара) в барабане котла и математическая модель, основанная на уравнении Антуана, приведены на рисунке 1.

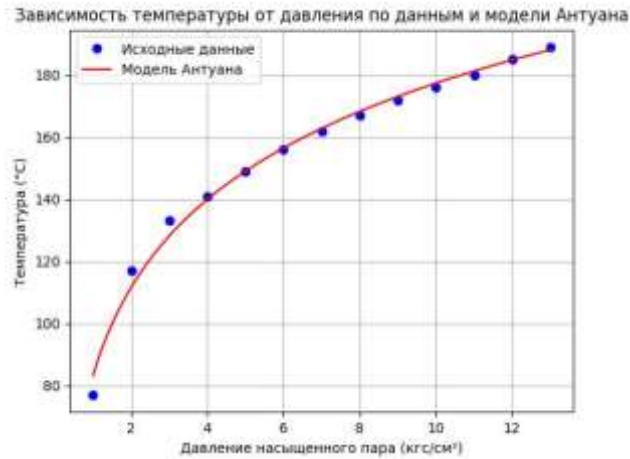


Рисунок 1 – Зависимость температуры пара в барабане котла ДКВр от давления по данным эксперимента

Уравнение Антуана позволяет прогнозировать давление пара при заданной температуре и наоборот. Оно может быть представлено следующим образом:

$$T = \frac{B}{A - \lg(P_{\text{пар}})} - C,$$

где T – температура жидкости; $P_{\text{пар}}$ – давление пара; A, B, C – неизвестные коэффициенты (они являются специфическими для каждой жидкости и определяются на основе экспериментальных данных в определенных температурных диапазонах).

Преобразуем уравнение Антуана:

$$T = \frac{B + AC}{A + \lg(P_{\text{пар}})}.$$

Для нахождения коэффициентов A, B и C воспользуемся методом наименьших квадратов. Для этого проведем замену $x_i = \lg(P_{\text{пар}})$:

$$T_i = \frac{B + AC}{A + x_i}.$$

После умножения обеих сторон на $A + x_i$ получим линейное уравнение вида:

$$AT_i + T_i x_i - B - AC = 0.$$

Функция ошибки имеет вид:

$$S(A, B, C) = \sum_{i=1}^n \left(T_i - \frac{B + AC}{A + \lg(P_{\text{пар}})} \right)^2.$$

Далее следует воспользоваться частными производными функции ошибки $S(A, B, C)$. Система дифференциальных уравнений будет следующей:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \left[T_i - \frac{B + AC}{A + x_i} \right] \cdot \frac{1}{A + x_i} = 0, \\ \sum_{i=1}^n \left[T_i - \frac{B + AC}{A + x_i} \right] \cdot \left(\frac{B + AC}{(A + x_i)^2} - \frac{C}{A + x_i} \right) = 0, \\ \sum_{i=1}^n \left[T_i - \frac{B + AC}{A + x_i} \right] \cdot \frac{A}{A + x_i} = 0, \end{cases}$$

Согласно этим уравнениям, используя численные методы и программу на языке Python, найдем коэффициенты A , B , C .

Коэффициенты уравнения Антуана зависимости температуры пара в барабане котла от давления по данным эксперимента следующие: $A = 2789,79$; $B = 731946442,16$; $C = 262282,51$.

Коэффициенты уравнения Антуана зависимости температуры пара в барабане котла от давления по результатам оптимизации АСУ котлом ДКВр следующие: $A = 1822,53$; $B = 318433151,00$; $C = 174635,41$.

График зависимости температуры пара от давления после оптимизации параметров регуляторов приведен на рисунке 2.

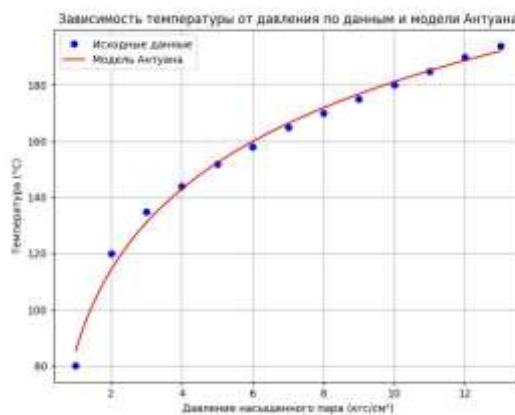


Рисунок 2 – Зависимость температуры пара в барабане котла от давления по результатам оптимизации

Сравнивая данные по температуре пара до и после оптимизации, получим графики на рисунке 3.

Из рисунка 3 следует, что температура пара в барабане котла увеличилась в среднем на 2,2 %. Такое увеличение температуры указывает на успешность проведенной оптимизации. Следует отметить, что более высокая температура пара способствует повышению его энергии и увеличению эффективности работы котла в целом [3]. Кроме того, это изменение может способствовать снижению потребления газа.

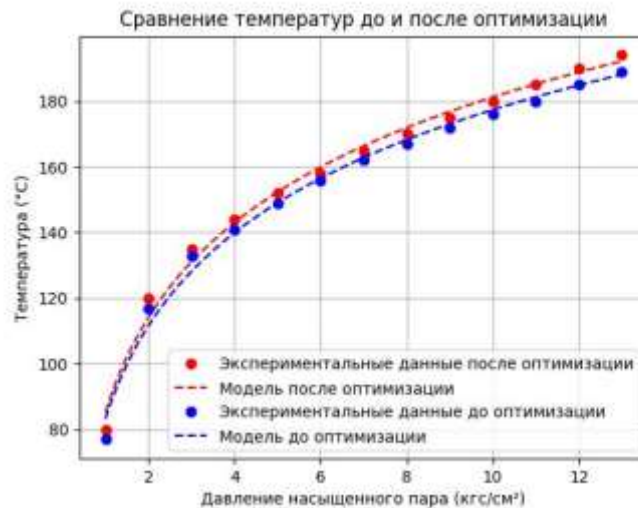


Рисунок 3 – Зависимость температуры пара в барабане котла от давления до и после оптимизации

Оценим эффективность разработанных моделей зависимости температуры пара в барабане котла от давления до и после оптимизации построением модели в MatLab/Simulink (рисунок 4).

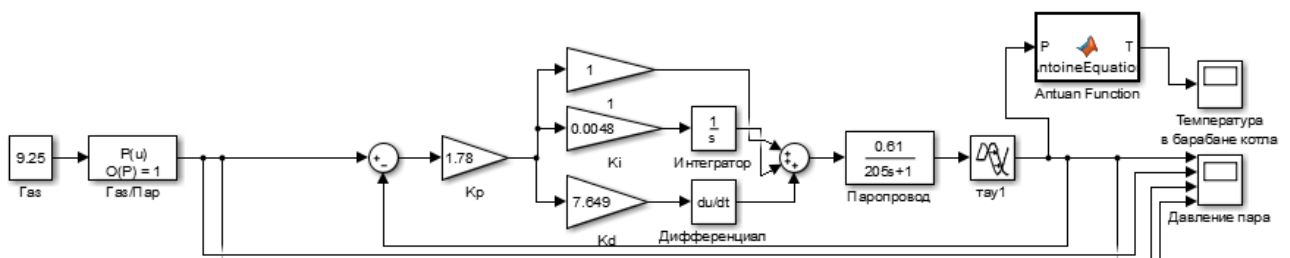


Рисунок 4 – Модель MatLab/Simulink температуры в барабане котла ДКВр

Полученная переходная характеристика подтверждает высокую точность регулирования температуры и малое время переходного процесса после оптимизации параметров ПИД-регуляторов (рисунок 5).

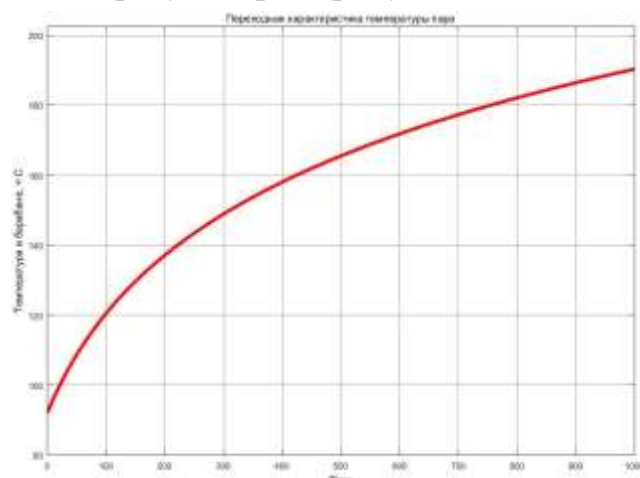


Рисунок 5 – Переходная характеристика температуры пара в барабане котла ДКВр

Таким образом, проведенная в работе оценка методом математического и компьютерного моделирования в MatLab/Simulink позволила сделать вывод о том, что настроенная АСУ по нашей методике повысила эффективность работы котельной установки на базе ДКВр на 2,2 %.

Список литературы

1. Мамышев, Р.Э. Система автоматизации котельных установок / Р.Э. Мамышев // Modern Science. – 2020. – № 11-1. – С. 415-419.

2. Лаврик, А.А. Исследование и разработка системы комплексной автоматизации котельной установки промышленного предприятия / А.А. Лаврик, А.А. Грибанов // Современные проблемы автоматизации, роботизации и управления в технических, организационных, экономических системах : Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых и Всероссийской научно-практической конференции преподавателей и специалистов, Воронеж, 26–29 марта 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 61-65. – DOI: 10.58168/ROBOTICS2024_61-65.

3. Лаврик, А.А. Исследование системы автоматизации котельной установки промышленного предприятия / А.А. Лаврик, А.А. Грибанов, А.А. Мещерякова // Информационные технологии. Физика и математика : материалы 88-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 29 января – 16 февраля 2024 года. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2024. – С. 188-191.

References

1. Mamyshev, R. E. Automation system of boiler plants / R. E. Mamyshev // Modern Science. – 2020. – № 11-1. – Pp. 415-419.

2. Lavrik, A.A. Research and development of the system of complex automation of the boiler plant of the industrial enterprise / A.A. Lavrik, A.A. Gribanov // Modern problems of automation, robotization and control in technical, organizational, economic systems : Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference of students and young scientists and All-Russian scientific-practical conference of teachers and specialists, Voronezh, March 26-29, 2024. — Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov. G.F. Morozov, 2024. – Pp. 61-65. – DOI: 10.58168/ROBOTICS2024_61-65.

3. Lavrik, A.A. Research of the automation system of the boiler plant of the industrial enterprise / A.A. Lavrik, A.A. Gribanov, A.A. Meshcheriakova // Information technologies. Physics and Mathematics : proceedings of the 88th scientific and technical conference of the teaching staff, researchers and graduate students (with international participation), Minsk, January 29 - February 16, 2024. – Minsk: Belarusian State Technological University, 2024. – Pp. 188-191.