

УДК 681.5.01

UDC 681.5.01

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ГАЗООБРАЗНЫХ И ЖИДКИХ СРЕД В РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

THE DEVELOPMENT OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF AIR COOLING OF GASEOUS AND LIQUID MEDIA IN A VARIETY OF INDUSTRIES

Шаповало Анатолий Антонович
соискатель

Shapovalov Anatolii Antonovitch
applicant for degree

Заместитель начальника Управления энергетики Департамента по транспортировке, подземному хранению и использованию газа "ОАО Газпром", Москва, Россия

Deputy Head of the Department of Energy of the Department of Gas Transportation, Underground Storage and Utilization of JSCO "Gazprom", Moscow, Russia

Разработано математическое обеспечение для автоматической системы управления воздушным охлаждением газообразных и жидких сред. Разработана автоматическая система управления воздушным охлаждением газообразных и жидких сред, состоящая из задатчика интенсивности и системы автоматического регулирования

In the article we have described the software for automatic control system of air cooling of gaseous and liquid media. We have developed an automatic system of air-cooled gaseous and liquid media, consisting of ramp-function and auto-ray system of regulation

Ключевые слова: ЗАДАТЧИК ИНТЕНСИВНОСТИ, СИСТЕМА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ, АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Keywords: RAMP SYSTEM, AIR-COOLED, FULLY AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

В настоящее время важнейшей задачей является сокращение потребляемой воды, расходуемой для отвода избыточного тепла при охлаждении газообразных и жидких сред в различных производствах. В большей степени эта задача решается при внедрении в производство теплообменных аппаратов воздушного охлаждения. Такое решение позволяет избавляться от потребления воды, дефицит которой со временем будет только расти, но при этом увеличивается потребление электроэнергии исполнительным органом системы (вентиляторным агрегатом). Для уменьшения потребляемой электроэнергии регулируют скорость исполнительного органа вентилятора.

Для реализации управления температурой газообразных и жидких сред в различных производствах требуется разработать автоматическую систему управления воздушным охлаждением газообразных и жидких сред.

Автоматическая система управления воздушным охлаждением газообразных и жидких сред состоит из задатчика интенсивности, формирую-

щего оптимальные по быстродействию диаграммы изменения температуры газообразных и жидких сред, и системы автоматического регулирования температуры продукта в системе воздушного охлаждения, отрабатывающий диаграммы изменения температуры газообразных и жидких сред.

В статье [1] синтезирована система автоматического регулирования температуры продукта в системе воздушного охлаждения.

В статьях [2-8] разработаны двенадцать оптимальных по быстродействию диаграмм изменения температуры продукта в системе воздушного охлаждения.

Данная работа посвящается разработке аналитических зависимостей температуры продукта на выходе системы воздушного охлаждения от времени.

На рисунке 1 представлена оптимальная по быстродействию диаграмма для больших изменений температуры продукта в системе воздушного охлаждения, имеющая наибольшее количество этапов (пятнадцать). На первом, седьмом, одиннадцатом и тринадцатом этапах третья производная скорости исполнительного органа вентилятора равна максимальному значению $\omega_{\max}^{(3)}$; на третьем, пятом, девятом и пятнадцатом этапах третья производная скорости исполнительного органа вентилятора равна максимальному значению со знаком «минус» $-\omega_{\max}^{(3)}$; на втором, четвертом, шестом, восьмом, десятом, двенадцатом и четырнадцатом этапах третья производная скорости исполнительного органа вентилятора равна нулю. Длительность первого, третьего, пятого, седьмого, девятого, одиннадцатого, тринадцатого и пятнадцатого этапов равна t_1 ; длительность второго, шестого, десятого и четырнадцатого этапов равна t_2 ; длительность четвертого этапа равна t_3 ; длительность восьмого этапа равна t_4 ; длительность двенадцатого этапа равна t_{3*} .

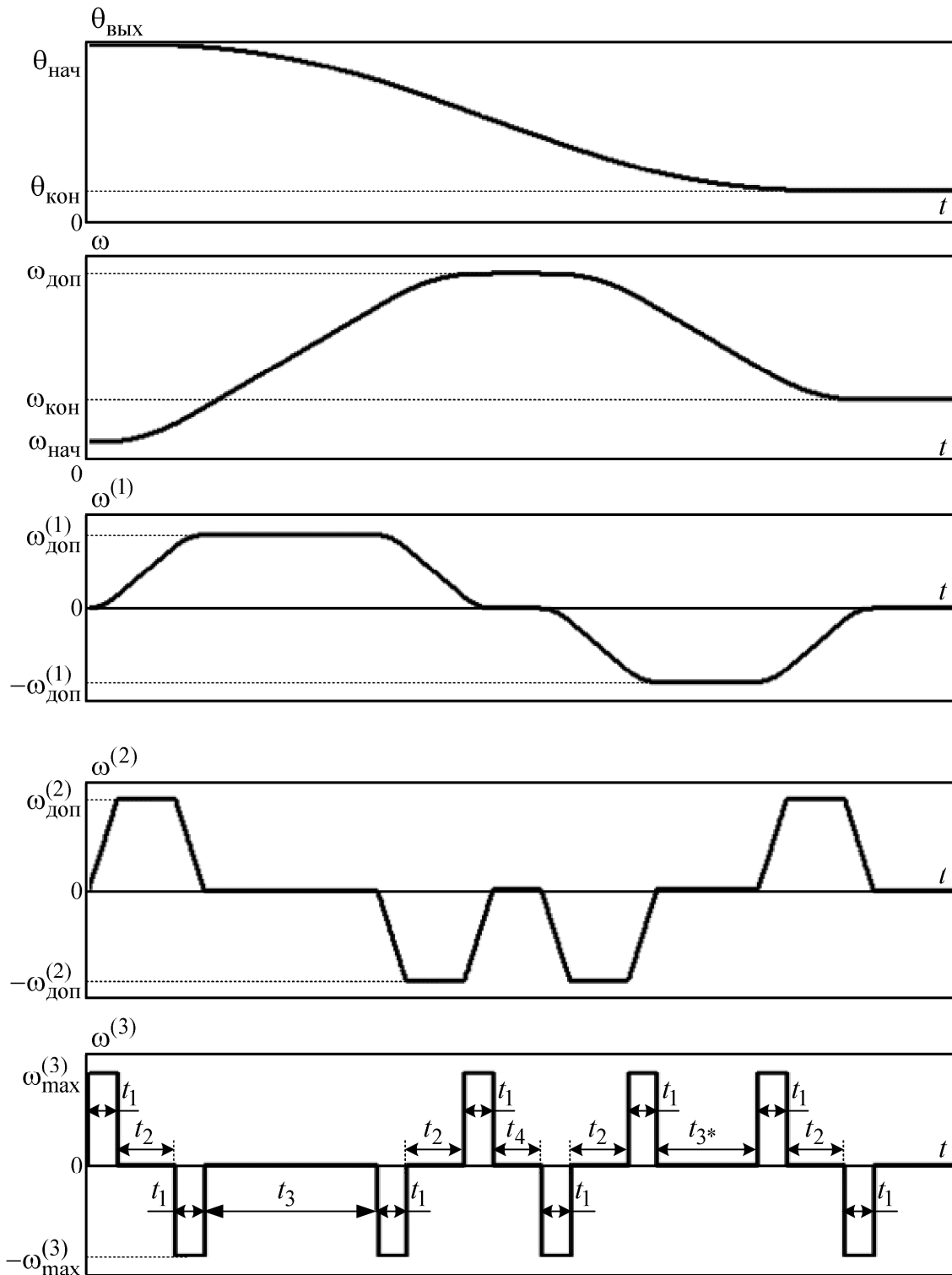


Рисунок 1 – Оптимальная по быстродействию диаграмма для больших изменений температуры в системе воздушного охлаждения, состоящая из пятнадцати этапов

На втором и четырнадцатом этапах вторая производная скорости исполнительного органа вентилятора равна максимально допустимому значению $\omega_{\text{доп}}^{(2)}$; на шестом и десятом этапах вторая производная скорости исполнительного органа вентилятора равна максимально допустимому значению со знаком «минус» $-\omega_{\text{доп}}^{(2)}$; на четвертом, восьмом и двенадцатом этапах вторая производная скорости исполнительного органа вентилятора равна нулю. На четвертом этапе первая производная скорости исполнительного органа вентилятора равна максимально допустимому значению $\omega_{\text{доп}}^{(1)}$; на двенадцатом этапе первая производная скорости исполнительного органа вентилятора равна максимально допустимому значению со знаком «минус» $-\omega_{\text{доп}}^{(1)}$; на восьмом этапе первая производная скорости исполнительного органа вентилятора равна нулю. Исполнительный орган вентилятора сначала разгоняется от начальной скорости исполнительного органа вентилятора $\omega_{\text{нач}}$ до максимально допустимой скорости $\omega_{\text{доп}}$, а затем тормозится от максимально допустимой скорости исполнительного органа вентилятора $\omega_{\text{доп}}$ до конечной скорости исполнительного органа вентилятора $\omega_{\text{кон}}$. На восьмом этапе скорость исполнительного органа вентилятора равна максимально допустимому значению $\omega_{\text{доп}}$. Температура продукта в системе уменьшается от начальной температуры $\theta_{\text{нач}} = (\theta_{\text{вх}} - k\omega_{\text{нач}})$ до конечной температуры $\theta_{\text{кон}} = (\theta_{\text{вх}} - k\omega_{\text{кон}})$.

Предлагается для данной диаграммы разработать аналитические зависимости температуры продукта на выходе системы от времени. Так как остальные оптимальные по быстродействию диаграммы изменения температуры продукта в системе воздушного охлаждения являются частным случаем оптимальной по быстродействию диаграммы для больших изменений температуры продукта в системе воздушного охлаждения, то полу-

чение для остальных диаграмм аналитических зависимостей температуры продукта на выходе системы от времени не вызывает особых сложностей.

Этап 1. В интервале времени $0 \leq t \leq t_1$:

$$\theta_{\text{ВЫХ}}(t) = \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{нач}} + K\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left(\tau^3 - \tau^2 \cdot t + \frac{1}{2}\tau \cdot t^2 - \frac{1}{6}t^3 \right) - K\omega_{\text{max}}^{(3)} \tau^3 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}},$$

где $\theta_{\text{ВЫХ}}$ – значение температуры продукта на выходе системы воздушного охлаждения;

$\theta_{\text{ВХ}}$ – значение температуры продукта на входе системы воздушного охлаждения;

K – коэффициент пропорциональности между скоростью исполнительного органа вентилятора и температурой продукта на выходе системы $\theta_{\text{ВЫХ}}$;

τ – постоянная времени, характеризующая динамику тепловых переходных процессов в системе воздушного охлаждения.

Этап 2. В интервале времени $t_1 \leq t \leq (t_1 + t_2)$:

$$\theta_{\text{ВЫХ}}(t) = \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{нач}} - K\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[\left(\tau^2 \cdot t_1 - \frac{1}{2}\tau \cdot t_1^2 + \frac{1}{6}t_1^3 \right) - \left(\tau \cdot t_1 - \frac{1}{2}t_1^2 \right) \cdot (t - t_1) + \frac{1}{2}t_1 \cdot (t - t_1)^2 \right] + K\omega_{\text{max}}^{(3)} \tau^3 \cdot F_1 \cdot e^{-\frac{t-t_1}{\tau}},$$

где $F_1 = 1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}}$.

Этап 3. В интервале времени $(t_1 + t_2) \leq t \leq (2t_1 + t_2)$:

$$\theta_{\text{ВЫХ}}(t) = \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{нач}} - K\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[\left(\tau^3 + \tau^2 \cdot t_1 - \frac{1}{2}\tau \cdot t_1^2 + \frac{1}{6}t_1^3 - \tau \cdot t_1 t_2 + \frac{1}{2}t_1^2 t_2 + \frac{1}{2}t_1 t_2^2 \right) - \left(\tau^2 + \tau \cdot t_1 - \frac{1}{2}t_1^2 - t_1 t_2 \right) \cdot (t - t_1 - t_2) + \frac{1}{2} \cdot (\tau + t_1) \cdot (t - t_1 - t_2)^2 - \right.$$

$$-\frac{1}{6} \cdot (t - t_1 - t_2)^3 \Big] + K\omega_{\max}^{(3)} \tau^3 \cdot F_2 \cdot e^{-\frac{t-t_1-t_2}{\tau}},$$

где $F_2 = 1 + F_1 \cdot e^{-\frac{t_2}{\tau}}$.

Этап 4. В интервале времени $(2t_1 + t_2) \leq t \leq (2t_1 + t_2 + t_3)$:

$$\theta_{\text{ВЫХ}}(t) = \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{нач}} + K\omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[\left(\tau \cdot t_1^2 - t_1^3 + \tau \cdot t_1 t_2 - \frac{3}{2} t_1^2 t_2 - \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right) - \right. \\ \left. - (t_1^2 + t_1 t_2) \cdot (t - 2t_1 - t_2) \right] - K\omega_{\max}^{(3)} \tau^3 \cdot F_3 \cdot e^{-\frac{t-2t_1-t_2}{\tau}},$$

где $F_3 = 1 - F_2 \cdot e^{-\frac{t_1}{\tau}}$.

Этап 5. В интервале времени $(2t_1 + t_2 + t_3) \leq t \leq (3t_1 + t_2 + t_3)$:

$$\theta_{\text{ВЫХ}}(t) = \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{нач}} - K\omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[\left(\tau^3 - \tau \cdot t_1^2 + t_1^3 - \tau \cdot t_1 t_2 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + \right. \right. \\ \left. \left. + t_1 t_2 t_3 \right) - (\tau^2 - t_1^2 - t_1 t_2) \cdot (t - 2t_1 - t_2 - t_3) + \frac{1}{2} \tau \cdot (t - 2t_1 - t_2 - t_3)^2 - \right. \\ \left. - \frac{1}{6} \cdot (t - 2t_1 - t_2 - t_3)^3 \right] + K\omega_{\max}^{(3)} \tau^3 \cdot F_4 \cdot e^{-\frac{t-2t_1-t_2-t_3}{\tau}},$$

где $F_4 = 1 - F_3 \cdot e^{-\frac{t_3}{\tau}}$.

Этап 6. В интервале времени $(3t_1 + t_2 + t_3) \leq t \leq (3t_1 + 2t_2 + t_3)$:

$$\theta_{\text{ВЫХ}}(t) = \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{нач}} + K\omega_{\max}^{(3)} \cdot \left[\left(\tau^2 \cdot t_1 + \frac{1}{2} \tau \cdot t_1^2 - \frac{11}{6} t_1^3 + \tau \cdot t_1 t_2 - \frac{5}{2} t_1^2 t_2 - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{1}{2} t_1 t_2^2 - t_1^2 t_3 - t_1 t_2 t_3 \right) - \left(\tau \cdot t_1 + \frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3) + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} t_1 \cdot (t - 3t_1 - t_2 - t_3)^2 \right] - K\omega_{\max}^{(3)} \tau^3 \cdot F_5 \cdot e^{-\frac{t-3t_1-t_2-t_3}{\tau}},$$

где $F_5 = 1 - F_4 \cdot e^{-\frac{t_1}{\tau}}$.

Этап 7. В интервале времени $(3t_1 + 2t_2 + t_3) \leq t \leq (4t_1 + 2t_2 + t_3)$:

$$\begin{aligned} \theta_{\text{ВЫХ}}(t) = & \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{нач}} + K\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[\left(\tau^3 + \tau^2 \cdot t_1 + \frac{1}{2} \tau \cdot t_1^2 - \frac{11}{6} t_1^3 - 3t_1^2 t_2 - t_1 t_2^2 - t_1^2 t_3 - \right. \right. \\ & \left. \left. - t_1 t_2 t_3 \right) - \left(\tau^2 + \tau \cdot t_1 + \frac{1}{2} t_1^2 \right) \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3) + \right. \\ & \left. + \frac{1}{2} \cdot (\tau + t_1) \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)^2 - \frac{1}{6} \cdot (t - 3t_1 - 2t_2 - t_3)^3 - \right. \\ & \left. - K\omega_{\text{max}}^{(3)} \tau^3 \cdot F_6 \cdot e^{-\frac{t-3t_1-2t_2-t_3}{\tau}} \right], \end{aligned}$$

где $F_6 = 1 + F_5 \cdot e^{-\frac{t_2}{\tau}}$.

Этап 8. В интервале времени $(4t_1 + 2t_2 + t_3) \leq t \leq (4t_1 + 2t_2 + t_3 + t_4)$:

$$\begin{aligned} \theta_{\text{ВЫХ}}(t) = & \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{нач}} - K\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left(2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) + \\ & + K\omega_{\text{max}}^{(3)} \tau^3 \cdot F_7 \cdot e^{-\frac{t-4t_1-2t_2-t_3}{\tau}}, \end{aligned}$$

где $F_7 = 1 - F_6 \cdot e^{-\frac{t_1}{\tau}}$.

Этап 9. В интервале времени $(4t_1 + 2t_2 + t_3 + t_4) \leq t \leq (5t_1 + 2t_2 + t_3 + t_4)$:

$$\begin{aligned} \theta_{\text{ВЫХ}}(t) = & \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{нач}} - K\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[\left(\tau^3 + 2t_1^3 + 3t_1^2 t_2 + t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 \right) - \right. \\ & \left. - \tau^2 \cdot (t - 4t_1 - 2t_2 - t_3 - t_4) + \frac{1}{2} \tau \cdot (t - 4t_1 - 2t_2 - t_3 - t_4)^2 - \right. \\ & \left. - \frac{1}{6} \cdot (t - 4t_1 - 2t_2 - t_3 - t_4)^3 \right] + K\omega_{\text{max}}^{(3)} \tau^3 \cdot F_7 \cdot e^{-\frac{t-4t_1-2t_2-t_3-t_4}{\tau}}, \end{aligned}$$

где $F_8 = 1 + F_7 \cdot e^{-\frac{t_4}{\tau}}$.

Этап 10. В интервале времени $(5t_1 + 2t_2 + t_3 + t_4) \leq t \leq (5t_1 + 3t_2 + t_3 + t_4)$:

$$\theta_{\text{ВЫХ}}(t) = \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{нач}} + K\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[\left(\tau^2 \cdot t_1 - \frac{1}{2} \tau \cdot t_1^2 - \frac{11}{6} t_1^3 - 3t_1^2 t_2 - t_1 t_2^2 - t_1^2 t_3 - t_1 t_2 t_3 \right) - \left(\tau \cdot t_1 - \frac{1}{2} t_1^2 \right) \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_4) + \frac{1}{2} t_1 \cdot (t - 5t_1 - 2t_2 - t_3 - t_4)^2 \right] - K\omega_{\text{max}}^{(3)} \tau^3 \cdot F_9 \cdot e^{-\frac{t-5t_1-2t_2-t_3-t_4}{\tau}},$$

где $F_9 = 1 - F_8 \cdot e^{-\frac{t_1}{\tau}}$.

Этап 11. В интервале времени $(5t_1 + 3t_2 + t_3 + t_4) \leq t \leq (6t_1 + 3t_2 + t_3 + t_4)$:

$$\theta_{\text{ВЫХ}}(t) = \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{нач}} + K\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[\left(\tau^3 + \tau^2 \cdot t_1 - \frac{1}{2} \tau \cdot t_1^2 - \frac{11}{6} t_1^3 - \frac{5}{2} t_1^2 t_2 - \frac{1}{2} t_1 t_2^2 - t_1^2 t_3 - t_1 t_2 t_3 - \tau \cdot t_1 t_2 \right) - \left(\tau^2 + \tau \cdot t_1 - \frac{1}{2} t_1^2 - t_1 t_2 \right) \cdot (t - 5t_1 - 3t_2 - t_3 - t_4) + \frac{1}{2} \cdot (\tau + t_1) \cdot (t - 5t_1 - 3t_2 - t_3 - t_4)^2 - \frac{1}{6} \cdot (t - 5t_1 - 3t_2 - t_3 - t_4)^3 \right] - K\omega_{\text{max}}^{(3)} \tau^3 \cdot F_{10} \cdot e^{-\frac{t-5t_1-3t_2-t_3-t_4}{\tau}},$$

где $F_{10} = 1 + F_9 \cdot e^{-\frac{t_2}{\tau}}$.

Этап 12. В интервале времени $(6t_1 + 3t_2 + t_3 + t_4) \leq t \leq (6t_1 + 3t_2 + t_3 + t_{3*} + t_4)$:

$$\theta_{\text{ВЫХ}}(t) = \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{нач}} - K\omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot \left[\left(\tau \cdot t_1^2 + t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 + \tau \cdot t_1 t_2 \right) - \left(t_1^2 + t_1 t_2 \right) \cdot (t - 6t_1 - 3t_2 - t_3 - t_4) + K\omega_{\text{max}}^{(3)} \tau^3 \cdot F_{11} \cdot e^{-\frac{t-6t_1-3t_2-t_3-t_4}{\tau}}, \right.$$

где $F_{11} = 1 - F_{10} \cdot e^{-\frac{t_1}{\tau}}$.

Этап 13. В интервале времени $(6t_1 + 3t_2 + t_3 + t_{3*} + t_4) \leq t \leq (7t_1 + 3t_2 + t_3 + t_{3*} + t_4)$:

$$\theta_{\text{ВЫХ}}(t) = \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{НАЧ}} + K\omega_{\text{МАХ}}^{(3)} \cdot \left[\left(\tau^3 - \tau \cdot t_1^2 - t_1^3 - \frac{3}{2}t_1^2t_2 - \frac{1}{2}t_1t_2^2 - t_1^2t_3 - t_1t_2t_3 - \right. \right. \\ \left. \left. - \tau \cdot t_1t_2 + t_1^2t_{3^*} + t_1t_2t_{3^*} \right) - \left(\tau^2 - t_1^2 - t_1t_2 \right) \cdot (t - 6t_1 - 3t_2 - t_3 - t_{3^*} - t_4) + \right. \\ \left. + \frac{1}{2}\tau \cdot (t - 6t_1 - 3t_2 - t_3 - t_{3^*} - t_4)^2 - \frac{1}{6} \cdot (t - 6t_1 - 3t_2 - t_3 - t_{3^*} - t_4)^3 \right] - \\ - K\omega_{\text{МАХ}}^{(3)} \tau^3 \cdot F_{12} \cdot e^{-\frac{t-6t_1-3t_2-t_3-t_{3^*}-t_4}{\tau}},$$

где $F_{12} = 1 - F_{11} \cdot e^{-\frac{t_3^*}{\tau}}$.

Этап 14. В интервале времени $(7t_1 + 3t_2 + t_3 + t_{3^*} + t_4) \leq t \leq (7t_1 + 4t_2 + t_3 + t_{3^*} + t_4)$:

$$\theta_{\text{ВЫХ}}(t) = \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{НАЧ}} - K\omega_{\text{МАХ}}^{(3)} \cdot \left[\left(\tau^2 \cdot t_1 + \frac{1}{2}\tau \cdot t_1^2 + \frac{1}{6}t_1^3 + \frac{1}{2}t_1^2t_2 + \frac{1}{2}t_1t_2^2 + \right. \right. \\ \left. \left. + t_1^2t_3 + t_1t_2t_3 + \tau \cdot t_1t_2 - t_1^2t_{3^*} - t_1t_2t_{3^*} \right) - \right. \\ \left. - \left(\tau \cdot t_1 + \frac{1}{2}t_1^2 + t_1t_2 \right) \cdot (t - 7t_1 - 3t_2 - t_3 - t_{3^*} - t_4) + \right. \\ \left. + \frac{1}{2}t_1 \cdot (t - 7t_1 - 3t_2 - t_3 - t_{3^*} - t_4)^2 \right] + K\omega_{\text{МАХ}}^{(3)} \tau^3 \cdot F_{13} \cdot e^{-\frac{t-7t_1-3t_2-t_3-t_{3^*}-t_4}{\tau}},$$

где $F_{13} = 1 - F_{12} \cdot e^{-\frac{t_1}{\tau}}$.

Этап 15. В интервале времени $(7t_1 + 4t_2 + t_3 + t_{3^*} + t_4) \leq t \leq (8t_1 + 4t_2 + t_3 + t_{3^*} + t_4)$:

$$\theta_{\text{ВЫХ}}(t) = \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{НАЧ}} - K\omega_{\text{МАХ}}^{(3)} \cdot \left[\left(\tau^3 + \tau^2 \cdot t_1 + \frac{1}{2}\tau \cdot t_1^2 + \frac{1}{6}t_1^3 + t_1^2t_3 + t_1t_2t_3 - \right. \right. \\ \left. \left. - t_1^2t_{3^*} - t_1t_2t_{3^*} \right) - \left(\tau^2 + \tau \cdot t_1 + \frac{1}{2}t_1^2 \right) \cdot (t - 7t_1 - 4t_2 - t_3 - t_{3^*} - t_4) + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \cdot (\tau + t_1) \cdot (t - 7t_1 - 4t_2 - t_3 - t_{3^*} - t_4)^2 - \right. \\ \left. - \frac{1}{6} \cdot (t - 7t_1 - 4t_2 - t_3 - t_{3^*} - t_4)^3 \right] + K\omega_{\text{МАХ}}^{(3)} \tau^3 \cdot F_{14} \cdot e^{-\frac{t-7t_1-4t_2-t_3-t_{3^*}-t_4}{\tau}},$$

где $F_{14} = 1 + F_{13} \cdot e^{-\frac{t_2}{\tau}}$.

Выводы

Разработана автоматическая система управления воздушным охлаждением газообразных и жидких сред в различных производствах, состоящая из задатчика интенсивности (формирует оптимальные по быстрдействию диаграммы изменения температуры газообразных и жидких сред) и системы автоматического регулирования температуры продукта в системе воздушного охлаждения (обрабатывает диаграммы изменения температуры газообразных и жидких сред).

Получено математическое обеспечение для автоматической системы управления воздушным охлаждением газообразных и жидких сред в различных производствах.

Список литературы

1. Шаповало А.А. Синтез системы автоматического регулирования температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения с типовыми регуляторами // Изв. ВУЗов «Пищевая технология». 2010. № 5-6. С 110-111.
2. Сингаевский Н.А., Добробаба Ю.П., Шаповало А.А. Оптимальные по быстрдействию диаграммы изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения // Научный журнал КубГАУ. 2012. №76(02).
3. Шаповало А.А., Добробаба Ю.П. Разработка оптимальных по быстрдействию диаграмм изменения скорости электроприводов с асинхронным двигателем и частотным преобразователем // Технические и технологические системы: Материалы международной научной конференции. Краснодар, 2009. С 119-123.
4. . Добробаба Ю.П., Шаповало А.А. Разработка оптимальных по быстрдействию диаграмм изменения скорости электроприводов переменного тока // Изв. ВУЗов «Пищевая технология». 2009. №4. С 91-94.
5. Добробаба Ю.П., Шаповало А.А. Разработка оптимальной по быстрдействию диаграммы для малых изменений температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения // Изв. ВУЗов «Пищевая технология». 2009. №5-6. С 74-76.
6. Добробаба Ю.П., Шаповало А.А. Разработка оптимальных по быстрдействию диаграмм для небольших изменений температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения // Изв. ВУЗов «Пищевая технология». 2010. №1. С 76-79.
7. Добробаба Ю.П., Шаповало А.А. Разработка оптимальных по быстрдействию диаграмм для средних изменений температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения // Изв. ВУЗов «Пищевая технология». 2010. № 2-3. С 82-85.
8. Добробаба Ю.П., Шаповало А.А. Разработка оптимальных по быстрдействию диаграмм для больших изменений температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения. Изв. ВУЗов «Пищевая технология», 2010, № 4, с. 82-85.

References

1. Shapovalov A.A. Sintez sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya temperatury produkta v apparate vozdušnogo ohlazhdeniya s tipovymi reguljatorami // *Izv. VUZov «Pishhevaja tehnologija»*. 2010. № 5-6. S 110-111.
2. Singaevskij N.A., Dobrobaba Ju.P., Shapovalov A.A. Optimal'nye po bystrodejstviju diagrammy izmenenija temperatury produkta v apparate vozdušnogo ohlazhdenija // *Nauchnyj zhurnal KubGAU*. 2012. №76(02).
3. Shapovalov A.A., Dobrobaba Ju.P. Razrabotka optimal'nyh po bystrodejstviju diagramm izmenenija skorosti jelektrivodov s asinhronnym dvigatelem i chastotnym preobrazovatelem // *Tehnicheskie i tehnologicheskie sistemy: Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii*. Krasnodar, 2009. S 119-123.
4. . Dobrobaba Ju.P., Shapovalov A.A. Razrabotka optimal'nyh po bystrodejstviju diagramm izmenenija skorosti jelektrivodov peremennogo toka // *Izv. VUZov «Pishhevaja tehnologija»*. 2009. №4. S 91-94.
5. Dobrobaba Ju.P., Shapovalov A.A. Razrabotka optimal'noj po bystrodejstviju diagrammy dlja malyh izmenenij temperatury produkta v apparate vozdušnogo ohlazhdenija // *Izv. VUZov «Pishhevaja tehnologija»*. 2009. №5-6. S 74-76.
6. Dobrobaba Ju.P., Shapovalov A.A. Razrabotka optimal'nyh po bystrodejstviju diagramm dlja nebol'shih izmenenij temperatury produkta v apparate vozdušnogo ohlazhdenija // *Izv. VUZov «Pishhevaja tehnologija»*. 2010. №1. S 76-79.
7. Dobrobaba Ju.P., Shapovalov A.A. Razrabotka optimal'nyh po bystrodejstviju diagramm dlja srednih izmenenij temperatury produkta v apparate vozdušnogo ohlazhdenija // *Izv. VUZov «Pishhevaja tehnologija»*. 2010. № 2-3. S 82-85.
8. Dobrobaba Ju.P., Shapovalov A.A. Razrabotka optimal'nyh po bystrodejstviju diagramm dlja bol'shih izmenenij temperatury produkta v apparate vozdušnogo ohlazhdenija. *Izv. VUZov «Pishhevaja tehnologija»*, 2010, № 4, s. 82-85.