

УДК 621.31.004.18

UDC 621.31.004.18

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПРОДУКТА В АППАРАТЕ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC CONTROL TEMPERATURE PRODUCT IN AIR-COOLING DEVICE

Сингаевский Николай Алексеевич
д.т.н., профессор
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Singaevskii Nikolai Alekseevitch
Dr.Sci.Tech., professor
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Добробаба Юрий Петрович
к.т.н., профессор
Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

Dobrobaba Yurii Petrovitch
Cand.Tech.Sci., professor
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

Шаповало Анатолий Антонович
соискатель
Начальник отдела развития и реконструкции объектов энергетики Управление энергетики "ОАО Газпром", Москва, Россия

Shapovalov Anatolii Antonovitch
applicant for degree
Head of development and reconstruction of Energy Office of Energy JSCO "Gazprom", Moscow, Russia

Разработаны две рациональные диаграммы изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения (без ограничения скорости исполнительного органа электропривода и с ограничением скорости исполнительного органа электропривода). Разработаны два задатчика интенсивности, формирующие рациональные диаграммы изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения. Синтезирована система автоматического регулирования температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения

In the article, we developed two rational diagram of temperature change of the product in the air-cooling machine (no speed limit and the executive body of the actuator with speed limits of the Executive Body Electric). We also developed two set points intensity, forming a rational chart changes in product temperature in the apparatus of air-cooling. The system of automatic temperature control product in the air-cooling apparatus is synthesized

Ключевые слова: ЗАДАТЧИК ИНТЕНСИВНОСТИ, АППАРАТ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Keywords: SET POINT OF INTENSITY, DEVICE OF AIR-COOLING, AUTOMATIC REGULATION

В аппаратах воздушного охлаждения вентиляторы обдувают пучки труб в которых движется продукт (жидкий или газообразный). Сложность управления аппаратами воздушного охлаждения обусловлена тем, что в них протекают сложные тепловые процессы, так как продукт на их входах имеет различные значения температуры и меняется температура окружающего воздуха.

В настоящее время в различных отраслях промышленности аппараты воздушного охлаждения оснащают электроприводами переменного тока по системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель». Наличие такой системы электропривода позволяет управлять температурой продукта

в аппарате воздушного охлаждения регулированием скорости исполнительных органов вентиляторов с большей эффективностью, чем регулирование изменением количества работающих вентиляторов. Для реализации принципа управления температурой продукта в аппарате воздушного охлаждения за счет регулирования скорости исполнительных органов вентиляторов требуется разработать систему автоматического управления (САУ) температурой продукта.

Система автоматического управления температурой продукта в аппарате воздушного охлаждения представляет собой электротехнический комплекс, состоящий из задатчика интенсивности и системы автоматического регулирования (САР) температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения.

Для аппаратов воздушного охлаждения разработаны две рациональные диаграммы изменения температуры продукта /1,2/:

- с ограничением первой производной скорости исполнительного органа электропривода, состоящая из двух этапов;
- с ограничениями скорости исполнительного органа электропривода и ее первой производной, состоящая из трех этапов.

При изменении температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения в соответствии с рациональной диаграммой, состоящей из двух этапов, от начального значения температуры на выходе аппарата $\theta_{\text{вых.нач}}$ до конечного значения температуры на выходе аппарата $\theta_{\text{вых.кон}}$ возможны два варианта.

Вариант 1. При выполнении условия $\theta_{\text{вых.нач}} > \theta_{\text{вых.кон}}$ на первом этапе первая производная скорости исполнительного органа электропривода равна максимально допустимому значению $\omega_{\text{доп}}^{(1)}$; на втором этапе первая производная скорости исполнительного органа электропривода равна максимально допустимому значению со знаком «минус» $-\omega_{\text{доп}}^{(1)}$. Длительность первого этапа равна t_1 ; длительность второго этапа равна t_{1*} .

Электропривод сначала разгоняется от начального значения скорости исполнительного органа $\omega_{\text{нач}}$ до максимального значения скорости исполнительного органа ω_{max} , а затем тормозится от максимального значения скорости исполнительного органа ω_{max} до конечного значения скорости исполнительного органа $\omega_{\text{кон}}$.

Для диаграммы справедливы соотношения:

$$t_1 = \tau \cdot \ln \left[e^{\frac{\Delta t}{\tau}} + \sqrt{e^{\frac{\Delta t}{\tau}} \cdot \left(e^{\frac{\Delta t}{\tau}} - 1 \right)} \right];$$

$$t_{1*} = t_1 - \Delta t;$$

$$\omega_{\text{max}} = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\text{доп}}^{(1)} \cdot t_1,$$

$$\text{где } \Delta t = \frac{\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}};$$

$$\omega_{\text{нач}} = \frac{\theta_{\text{вх}} - \theta_{\text{вых.нач}}}{K};$$

$$\omega_{\text{кон}} = \frac{\theta_{\text{вх}} - \theta_{\text{вых.кон}}}{K};$$

$\theta_{\text{вх}}$ – значение температуры продукта на входе аппарата воздушного охлаждения;

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

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

Диаграмма справедлива при выполнении условия

$$\omega_{\text{max}} \leq \omega_{\text{доп}},$$

где $\omega_{\text{доп}}$ – максимально допустимое значение скорости исполнительно-

го органа электропривода.

Вариант 2. При выполнении условия $\theta_{\text{вых.нач}} < \theta_{\text{вых.кон}}$ на первом этапе первая производная скорости исполнительного органа электропривода равна максимально допустимому значению со знаком «минус» $-\omega_{\text{доп}}^{(1)}$; на втором этапе первая производная скорости исполнительного органа электропривода равна максимально допустимому значению $\omega_{\text{доп}}^{(1)}$. Длительность первого этапа равна t_1 ; длительность второго этапа равна t_{1*} . Электропривод сначала тормозится от начального значения скорости исполнительного органа $\omega_{\text{нач}}$ до минимального значения скорости исполнительного органа ω_{min} , а затем разгоняется от минимального значения скорости исполнительного органа ω_{min} до конечного значения скорости исполнительного органа $\omega_{\text{кон}}$.

Для диаграммы справедливы соотношения:

$$t_1 = \tau \cdot \ln \left[e^{\frac{\Delta t}{\tau}} + \sqrt{e^{\frac{\Delta t}{\tau}} \cdot \left(e^{\frac{\Delta t}{\tau}} - 1 \right)} \right];$$

$$t_{1*} = t_1 - \Delta t;$$

$$\omega_{\text{min}} = \omega_{\text{нач}} - \omega_{\text{доп}}^{(1)} \cdot t_1,$$

$$\text{где } \Delta t = \frac{\omega_{\text{нач}} - \omega_{\text{кон}}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}}.$$

Диаграмма справедлива при выполнении условия $0 \leq \omega_{\text{min}}$.

Аналитические зависимости температуры продукта на выходе аппарата воздушного охлаждения $\theta_{\text{вых}}$ от времени t при ее рациональном изменении за два этапа имеют следующий вид.

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

$$\theta_{\text{ВЫХ}}(t) = \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{НАЧ}} \pm K\omega_{\text{ДОП}}^{(1)} \cdot \tau \mathbf{m}K\omega_{\text{ДОП}}^{(1)} \cdot t \mathbf{m}K\omega_{\text{ДОП}}^{(1)} \cdot \tau \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

Этап 2. В интервале времени $t_1 \leq t \leq (t_1 + t_{1*})$

$$\theta_{\text{ВЫХ}}(t) = \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{НАЧ}} \mathbf{m}K\omega_{\text{ДОП}}^{(1)} \cdot (\tau + t_1) \pm K\omega_{\text{ДОП}}^{(1)} \cdot (t - t_1) \pm \pm K\omega_{\text{ДОП}}^{(1)} \cdot \tau \cdot \left(2 - e^{-\frac{t_1}{\tau}} \right) \cdot e^{-\frac{t-t_1}{\tau}}.$$

В аналитических зависимостях температуры продукта на выходе аппарата воздушного охлаждения от времени верхние знаки соответствуют варианту первому (уменьшение температуры продукта), а нижние знаки – варианту второму (увеличение температуры продукта).

Полученные аналитические зависимости температуры продукта на выходе аппарата воздушного охлаждения от времени позволяют перейти к разработке задатчика интенсивности, формирующего предлагаемую двух-этапную диаграмму.

При изменении температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения в соответствии с рациональной диаграммой, состоящей из трех этапов, от начального значения температуры на выходе аппарата $\theta_{\text{ВЫХ.НАЧ}}$ до конечного значения температуры на выходе аппарата $\theta_{\text{ВЫХ.КОН}}$ ВОЗМОЖНЫ два варианта.

Вариант 1. При выполнении условия $\theta_{\text{ВЫХ.НАЧ}} > \theta_{\text{ВЫХ.КОН}}$ на первом этапе первая производная скорости исполнительного органа электропривода равна максимально допустимому значению $\omega_{\text{ДОП}}^{(1)}$; на втором этапе первая производная скорости исполнительного органа электропривода равна нулю; на третьем этапе первая производная скорости исполнительного органа электропривода равна максимально допустимому значению со

знаком «минус» $-\omega_{\text{доп}}^{(1)}$. Длительность первого этапа равна t_1 ; длительность второго этапа равна t_2 ; длительность третьего этапа равна t_{1*} . На первом этапе электропривод разгоняется от начального значения скорости исполнительного органа $\omega_{\text{нач}}$ до максимально допустимого значения скорости исполнительного органа $\omega_{\text{доп}}$; на втором этапе скорость исполнительного органа электропривода равна максимально допустимому значению $\omega_{\text{доп}}$; на третьем этапе электропривод тормозится от максимального допустимого значения скорости исполнительного органа $\omega_{\text{доп}}$ до конечного значения скорости исполнительного органа $\omega_{\text{кон}}$.

Для диаграммы справедливы соотношения:

$$t_1 = \frac{\omega_{\text{доп}} - \omega_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}};$$

$$t_{1*} = \frac{\omega_{\text{доп}} - \omega_{\text{кон}}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}};$$

$$t_2 = \tau \cdot \ln \frac{1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}}}{e^{-\frac{t_{1*}}{\tau}} - 1}.$$

Диаграмма справедлива при выполнении условия $t_2 \geq 0$.

Вариант 2. При выполнении условия $\theta_{\text{вых.нач}} < \theta_{\text{вых.кон}}$ на первом этапе первая производная скорости исполнительного органа электропривода равна максимально допустимому значению со знаком «минус» $-\omega_{\text{доп}}^{(1)}$; на втором этапе первая производная скорости исполнительного органа электропривода равна нулю; на третьем этапе первая производная скорости исполнительного органа электропривода равна максимально допустимому значению $\omega_{\text{доп}}^{(1)}$. Длительность первого этапа равна t_1 ; длительность второго этапа равна t_2 ; длительность третьего этапа равна t_{1*} . На пер-

вом этапе электропривод тормозится от начального значения скорости исполнительного органа $\omega_{\text{нач}}$ до нуля; на втором этапе скорость исполнительного органа электропривода равна нулю; на третьем этапе электропривод разгоняется от нуля до конечного значения скорости исполнительного органа $\omega_{\text{кон}}$.

Для диаграммы справедливы соотношения:

$$t_1 = \frac{\omega_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}};$$

$$t_{1*} = \frac{\omega_{\text{кон}}}{\omega_{\text{доп}}^{(1)}};$$

$$t_2 = \tau \cdot \ln \frac{1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}}}{e^{-\frac{t_{1*}}{\tau}} - 1}.$$

Диаграмма справедлива при выполнении условия $t_2 \geq 0$.

Аналитические зависимости температуры продукта на выходе аппарата воздушного охлаждения $\theta_{\text{вых}}$ от времени t при ее рациональном изменении за три этапа имеет следующий вид.

Первые этапы рациональных диаграмм изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения одинаковые, поэтому аналитические зависимости температуры продукта на выходе аппарата воздушного охлаждения $\theta_{\text{вых}}$ от времени t при ее рациональном изменении в интервале времени $0 \leq t \leq t_1$ идентичны.

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

$$\theta_{\text{ВЫХ}}(t) = \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{нач}} \mathbf{m}K\omega_{\text{доп}}^{(1)} \cdot t_1 \pm K\omega_{\text{доп}}^{(1)} \cdot \tau \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}} \right) \cdot e^{-\frac{t-t_1}{\tau}}.$$

Этап 3. В интервале времени $(t_1 + t_2) \leq t \leq (t_1 + t_2 + t_{1*})$

$$\theta_{\text{ВЫХ}}(t) = \theta_{\text{ВХ}} - K\omega_{\text{нач}} \mathbf{m}K\omega_{\text{доп}}^{(1)} \cdot (\tau + t_1) \pm K\omega_{\text{доп}}^{(1)} \cdot (t - t_1 - t_2) \pm \pm K\omega_{\text{доп}}^{(1)} \cdot \tau \cdot \left[1 + \left(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}} \right) \cdot e^{-\frac{t_2}{\tau}} \right] \cdot e^{-\frac{t-t_1-t_2}{\tau}}.$$

В аналитических зависимостях температуры продукта на выходе аппарата воздушного охлаждения от времени верхние знаки соответствуют варианту первому (уменьшение температуры продукта), а нижние знаки – варианту второму (увеличение температуры продукта).

Полученные аналитические зависимости температуры продукта на выходе аппарата воздушного охлаждения от времени позволяют перейти к синтезу задатчика интенсивности для формирования предлагаемой трех-этапной диаграммы.

На кафедре электроснабжения промышленных предприятий Кубанского государственного технологического университета при участии автора разработаны задатчики интенсивности (командоаппараты), формирующие рациональные диаграммы изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения /3,4/.

На рисунке 1 представлен командоаппарат, формирующий рациональную диаграмму изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения, состоящую из двух этапов.

Силовая часть электропривода переменного тока без учета влияния электромагнитных процессов в цепях статора и ротора описывается дифференциальным уравнением первого порядка и тепловые процессы в аппарате воздушного охлаждения описываются дифференциальным уравнением первого порядка, поэтому в устройстве предусмотрено два интеграль-

ных блока. Рациональная диаграмма изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения состоит из двух этапов, поэтому в устройство введены два канала с двумя блоками ограничения. В конце каждого из двух этапов происходят переключения в командоаппарате в функции температуры продукта на выходе аппарата. Для командоаппарата, формирующего рациональную диаграмму уменьшения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения, на рисунке 1 все обозначения приведены без скобок. Для командоаппарата, формирующего рациональную диаграмму увеличения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения, на рисунке 1 присущие только ему обозначения приведены в скобках.

На рисунках 2 и 3 представлен командоаппарат, формирующий рациональную диаграмму изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения, состоящую из трех этапов. На рисунке 2 приведен основной блок, а на рисунке 3 – блок адаптации.

Силовая часть электропривода переменного тока без учета влияния электромагнитных процессов в цепях статора и ротора описывается дифференциальным уравнением первого порядка и тепловые процессы в аппарате воздушного охлаждения описываются дифференциальным уравнением первого порядка, поэтому в устройстве предусмотрено два интегральных блока. Рациональная диаграмма изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения состоит из трех этапов, поэтому в устройство введены три канала с тремя блоками ограничения. В конце каждого из трех этапов происходят переключения в командоаппарате в функции температуры продукта на выходе аппарата. Для командоаппарата, формирующего рациональную диаграмму уменьшения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения, на рисунках 2 и 3 все обозначения приведены без скобок. Для командоаппарата, формирующего рациональную диаграмму увеличения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения, на

рисунках 2 и 3 присущие только ему обозначения приведены в скобках. На рисунке 3 четыре блока, изображенные пунктиром, предназначены только для командоаппарата, формирующего рациональную диаграмму уменьшения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения.

Система автоматического регулирования температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения выполнена на базе САР скорости исполнительного органа электропривода с частотным преобразователем и асинхронным двигателем. При этом использована система векторного управления электроприводом, выполненная по принципу подчиненного регулирования координат. Асинхронный двигатель является многоканальным объектом с перекрестными связями между каналами и с нелинейностями вида произведения нескольких переменных. Разделить переменные возможно при переводе модели асинхронного двигателя в систему координат, ориентированную по вектору потокосцепления ротора двигателя /5/. В такой системе координат строится двухканальная система регулирования электропривода с независимым управлением потокосцепления ротора и электромагнитным моментом асинхронного двигателя /5/.

Автором построена двухканальная система регулирования электропривода вентилятора аппарата воздушного охлаждения на основе серийно выпускаемого электропривода с частотным преобразователем и асинхронным двигателем по изложенной в /5/ методике. При этом передаточные функции САР скорости вентилятора по каналам управления и возмущения соответственно имеют вид:

$$\frac{\omega(p)}{U_{зс}(p)} = \frac{1}{K_{ос}} \cdot \frac{1}{8T_{\mu}^3 p^3 + 8T_{\mu}^2 p^2 + 4T_{\mu} p + 1};$$

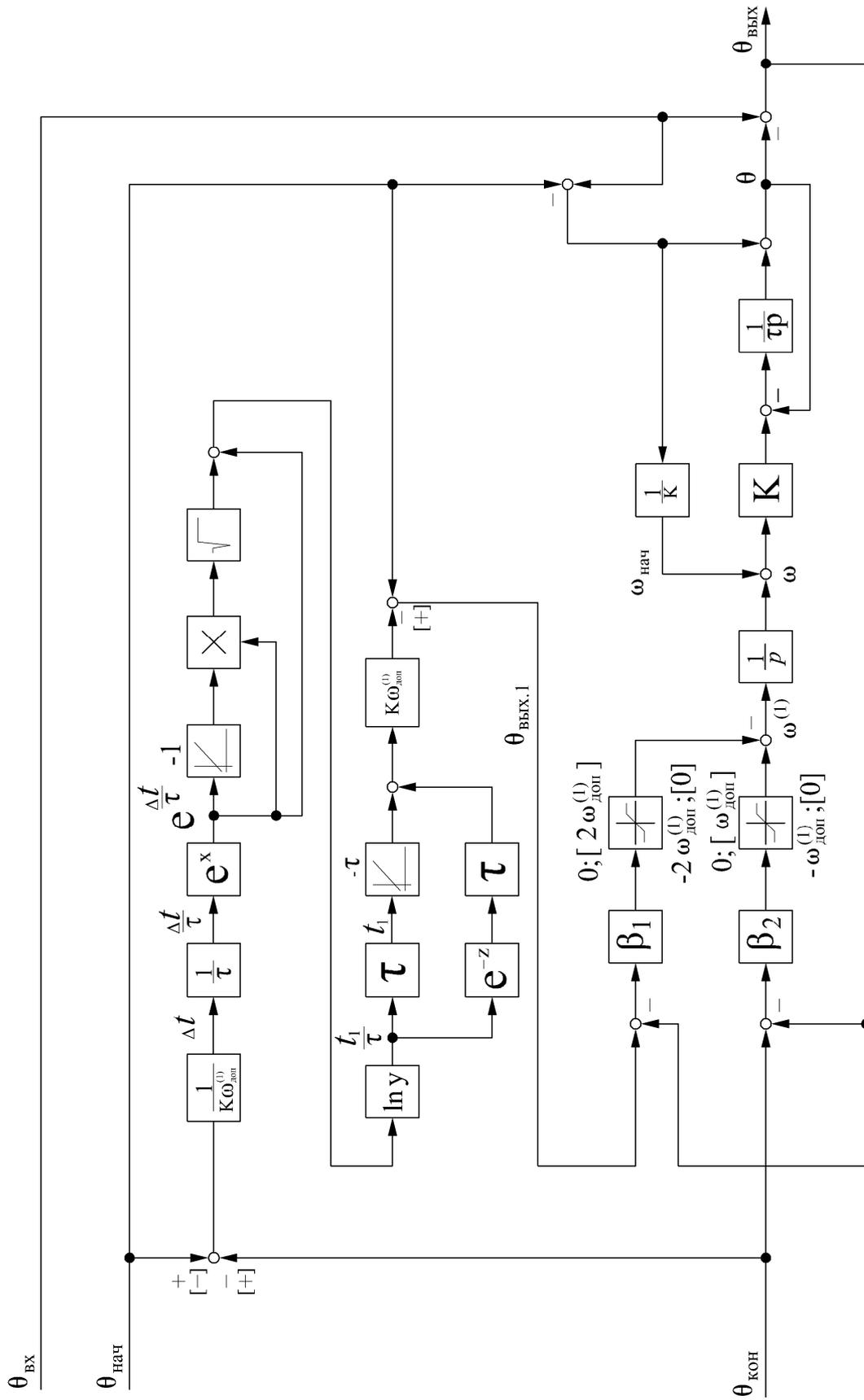


Рисунок 1 - Командоаппарат, формирующий рациональную диаграмму изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения, состоящую из двух этапов

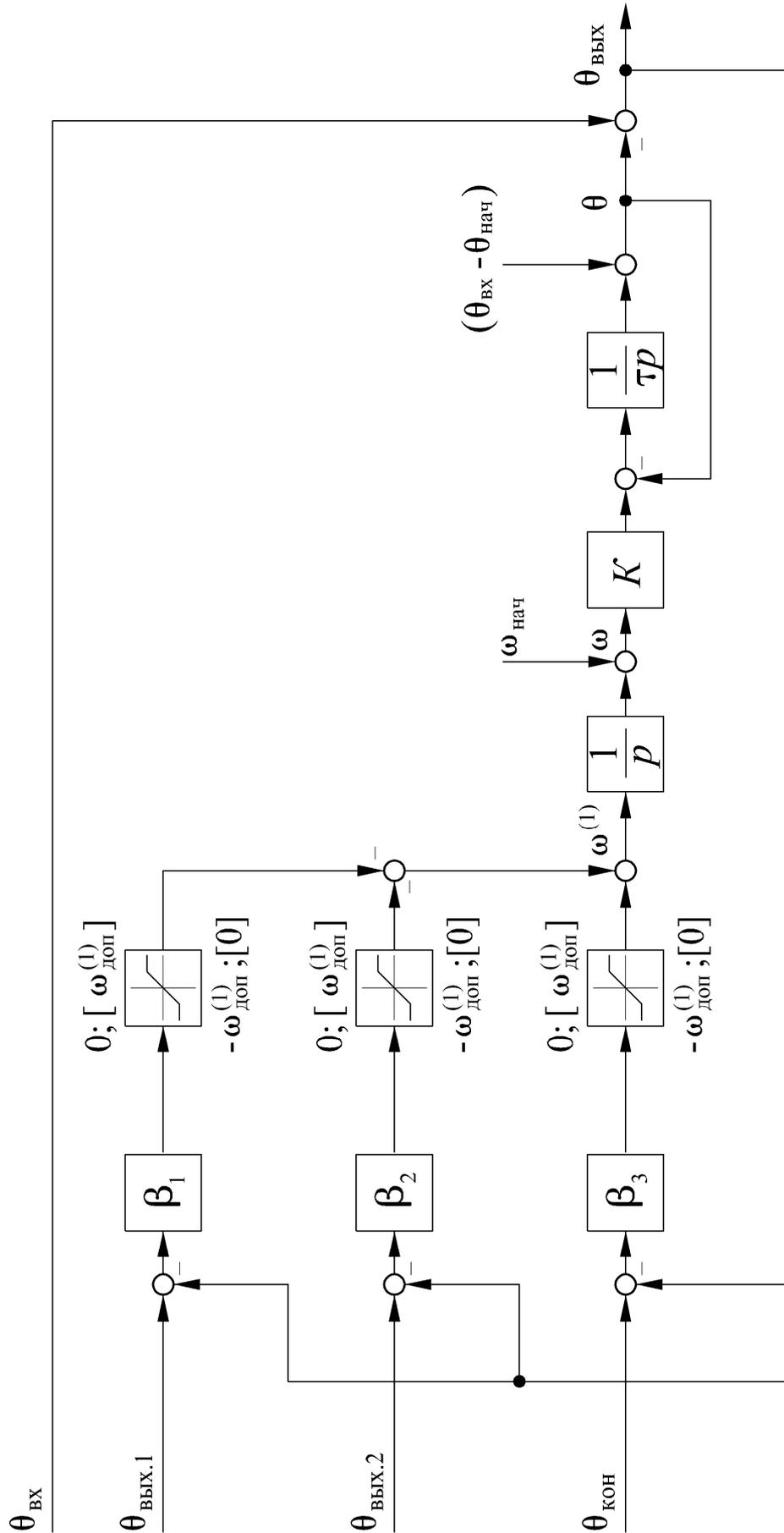


Рисунок 2 - Командоаппарат, формирующий рациональную диаграмму изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения, состоящую из трех этапов. Основной блок

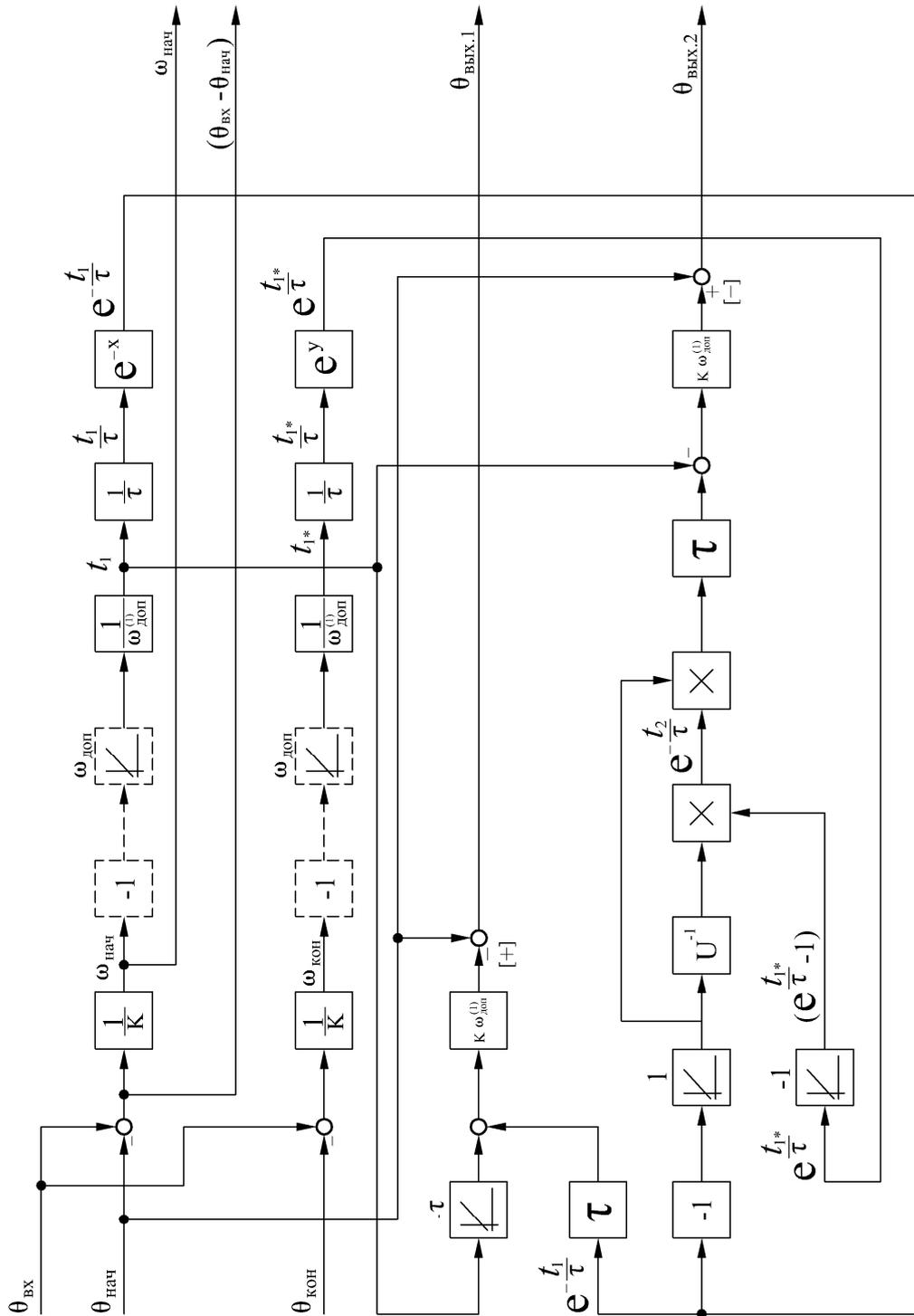


Рисунок 3 - Командоаппарат, формирующий рациональную диаграмму изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения, состоящую из трех этапов. Блок адаптации

$$\frac{\omega(p)}{M_c(p)} = -2 \cdot \frac{T_\mu}{J} \cdot \frac{4T_\mu^2 p^2 + 4T_\mu p}{8T_\mu^3 p^3 + 8T_\mu^2 p^2 + 4T_\mu p + 1},$$

где ω – угловая скорость электропривода вентилятора;

$U_{зс}$ – задающее напряжение контура скорости;

M_c – момент сопротивления электропривода;

$K_{ос}$ – коэффициент отрицательной обратной связи по скорости;

J – момент инерции электропривода;

T_μ – некомпенсируемая постоянная времени.

Предлагается внешний контур САР температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения выполнить с пропорционально-интегральным регулятором температуры $P\theta$

$$W_{P\theta}(p) = \beta_{P\theta} \cdot \frac{\tau_{P\theta} p + 1}{\tau_{P\theta} p},$$

где $\beta_{P\theta}$ – динамический коэффициент $P\theta$;

$\tau_{P\theta}$ – постоянная времени $P\theta$.

При

$$\left. \begin{aligned} \beta_{P\theta} &= \frac{K_{ос}}{KK_{о\theta}} \cdot \frac{\tau}{8T_\mu}; \\ \tau_{P\theta} &= \tau \end{aligned} \right\}$$

передаточные функции САР температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения имеют вид:

$$\frac{\theta_{\text{ВЫХ}}(p)}{U_{з\theta}(p)} = \frac{1}{K_{о\theta}} \cdot \frac{1}{64T_\mu^4 p^4 + 64T_\mu^3 p^3 + 32T_\mu^2 p^2 + 8T_\mu p + 1};$$

$$\frac{\theta_{\text{ВЫХ}}(p)}{\theta_{\text{ВХ}}(p)} = \frac{64T_{\mu}^4 p^4 + 64T_{\mu}^3 p^3 + 32T_{\mu}^2 p^2 + 8T_{\mu} p}{64T_{\mu}^4 p^4 + 64T_{\mu}^3 p^3 + 32T_{\mu}^2 p^2 + 8T_{\mu} p + 1};$$

$$\frac{\theta_{\text{ВЫХ}}(p)}{M_c(p)} = K \cdot 8 \cdot \frac{T_{\mu}^2}{J} \cdot \frac{8T_{\mu}^2 p^2 + 8T_{\mu} p}{64T_{\mu}^4 p^4 + 64T_{\mu}^3 p^3 + 32T_{\mu}^2 p^2 + 8T_{\mu} p + 1} \cdot \frac{\tau p}{\tau p + 1},$$

где $U_{3\theta}$ – задающее напряжение контура температуры;

K_{θ} – коэффициент положительной обратной связи по температуре.

Следует обратить внимание, что задающее напряжение контура тока температуры $U_{3\theta}$ подается на вход регулятора температуры $P\theta$ со знаком «минус».

Передаточная функция САР температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения по каналу управления имеет вид эталонной передаточной функции четвертого порядка с постоянной времени $8T_{\mu}$.

Выводы

Разработаны две рациональные диаграммы изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения без ограничения скорости исполнительного электропривода и с ограничением скорости исполнительного органа электропривода.

Система автоматического управления температурой продукта в аппарате воздушного охлаждения состоит из задатчика интенсивности, формирующего диаграмму изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения, и системы автоматического регулирования температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения, обрабатывающей заданную диаграмму изменения температуры продукта в аппарате.

Синтезированы два задатчика интенсивности, формирующие рациональные диаграммы изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения.

Синтезирован внешний контур САР температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения с пропорционально-интегральным регулятором температуры.

Внедрение предлагаемой САУ температурой продукта в аппарате воздушного охлаждения позволит интенсифицировать процесс охлаждения продукта в аппарате.

Список литературы

1. Добробаба Ю.П., Мурлина В.А., Шаповало А.А. Разработка рациональной диаграммы изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения, состоящая из двух этапов. Материалы международной научной конференции «Технические и технологические системы». Краснодар, 2010, С. 157 - 160.
2. Добробаба Ю.П., Мурлина В.А., Шаповало А.А. Разработка рациональной диаграммы изменения температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения, состоящая из трех этапов. Материалы международной научной конференции «Технические и технологические системы». Краснодар, 2010, С. 160 - 163.
3. Пат. на полезную модель № 101216 . Устройство для управления изменением температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения при ограничении первой производной частоты вращения исполнительного органа электропривода вентилятора / Ю.П. Добробаба, А.А. Шаповало, В.А. Мурлина. Оpubл. 10.01.2011, Бюл. №1.
4. . Пат. на полезную модель № 101287. Устройство для управления изменением температуры продукта в аппарате воздушного охлаждения при ограничениях частоты вращения исполнительного органа электропривода вентилятора и ее первой производной / Ю.П. Добробаба, А.А. Шаповало, В.А. Мурлина. Оpubл. 10.01.2011, Бюл. №1.
5. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов / Козярук А.Е., Рудаков В.В. – под редакцией Народицкого А.Г. – С.-Петербург, Санкт – Петербургская Электротехническая Компания, 2004, 127 С.