

Электротехника

УДК 62-83:622

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ ГАЗА НА ВЫХОДЕ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

А.М. Абакумов, С.В. Алимов, Л.А. Мигачева, В.Н. Мосин

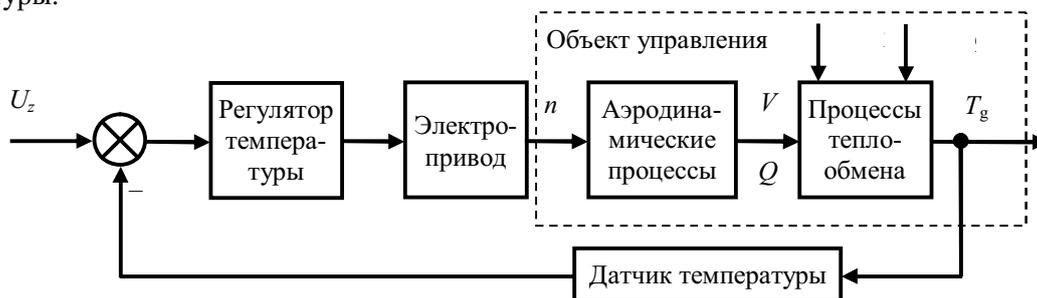
Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассмотрены вопросы синтеза системы автоматического управления температурой газа на выходе аппаратов воздушного охлаждения компрессорных станций магистральных газопроводов. Приводятся результаты компьютерного моделирования САУ.

Ключевые слова: установки охлаждения газа, система автоматического управления температурой газа.

Установки охлаждения природного газа (УОГ) компрессорных станций магистральных газопроводов должны отвечать достаточно жестким требованиям по обеспечению заданной температуры газа на выходе [1]. Типовая установка охлаждения газа содержит несколько параллельно включенных аппаратов воздушного охлаждения (АВО). В предположении равномерного распределения потока газа по отдельным АВО для анализа режима работы УОГ может рассматриваться один из параллельно включенных аппаратов воздушного охлаждения газа и, соответственно, система автоматического управления (САУ) одним АВО.

Общая функциональная схема замкнутой САУ температурой газа на выходе АВО приведена на рис. 1. Она включает обобщенный объект управления (ОУ), в котором выделены два звена: аэродинамические процессы и процессы теплообмена, а также электропривод, датчик температуры газа на выходе АВО и регулятор температуры.



Р и с. 1. Функциональная схема САУ температурой газа на выходе АВО

Александр Михайлович Абакумов – д.т.н., профессор.

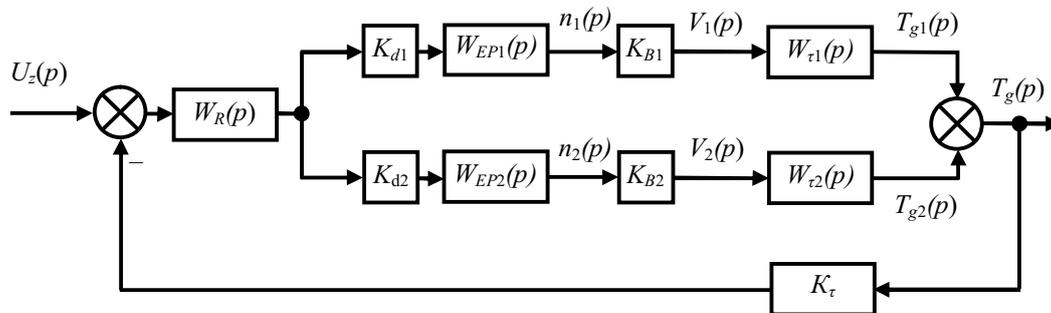
Сергей Викторович Алимов – аспирант.

Людмила Алексеевна Мигачева – к.т.н., доцент.

Владимир Николаевич Мосин – аспирант.

Регулирующим воздействием на ОУ является частота вращения электропривода n , определяющая скорость потока воздуха V и пропорциональный ей расход воздуха Q . Основными возмущающими воздействиями на объект управления являются температура наружного воздуха T_1 и расход газа Q_g .

Алгоритмическая схема системы управления температурой на выходе АВО показана на рис. 2. Здесь K_{B1} , K_{B2} , K_τ – коэффициенты передачи вентиляторов и датчика температуры газа.



Р и с. 2. Алгоритмическая схема САУ температурой газа на выходе АВО

Передаточные функции $W_{\tau 1}(p)$, $W_{\tau 2}(p)$ отражают инерционность изменения температуры на выходе АВО при изменении скорости охлаждающего воздуха первого и второго вентиляторов:

$$W_{\tau 1}(p) = \frac{\Delta T_{g1}(p)}{\Delta V_1(p)} = \frac{k_{v1}}{T_0 p + 1};$$

$$W_{\tau 2}(p) = \frac{\Delta T_{g2}(p)}{\Delta V_2(p)} = \frac{k_{v2}}{T_0 p + 1},$$

где k_{v1} , k_{v2} – коэффициенты передачи объекта по управляющему воздействию; T_0 – постоянная времени объекта.

Эквивалентные передаточные функции $W_{EP1}(p)$, $W_{EP2}(p)$ характеризуют динамические свойства электроприводов первого и второго вентиляторов. В [1] показано, что оптимальные значения скорости воздуха V_{opt} и, соответственно, частоты вращения первого и второго по ходу газа вентилятора отличаются друг от друга. Для обеспечения различных скоростей вентиляторов в канале управления вентиляторами используются делители с коэффициентами передачи $k_{d1} = \frac{V_{opt1}}{V_{opt2}}$, $k_{d2}=1$. Передаточная

функция $W_R(p)$ регулятора температуры подлежит выявлению при расчете динамики САУ.

В предположении об идентичности характеристик электроприводов и аэродинамических характеристик вентиляторов можно записать:

$$W_{EP1}(p) = W_{EP2}(p) = W_{EP}(p); \quad k_{B1} = k_{B2} = k_B.$$

Передаточную функцию звеньев прямой цепи алгоритмической схемы после преобразований можно записать в виде

$$W(p) = W_R(p) W_{EP}(p) \frac{k_B (k_{d1} k_{v1} + k_{v2})}{T_0 p + 1} = W_R(p) W_{EP}(p) W_o(p),$$

где обобщенная передаточная функция объекта управления

$$W_o(p) = \frac{\Delta T_g(p)}{\Delta n(p)} = \frac{k_B(k_{d1}k_{v1} + k_{v2})}{T_o p + 1}.$$

Для привода вентиляторов АВО используется частотно-регулируемый электропривод, выполненный в виде системы подчиненного регулирования. Его динамические свойства, как показывает анализ, могут быть эквивалентированы передаточной функцией апериодического звена

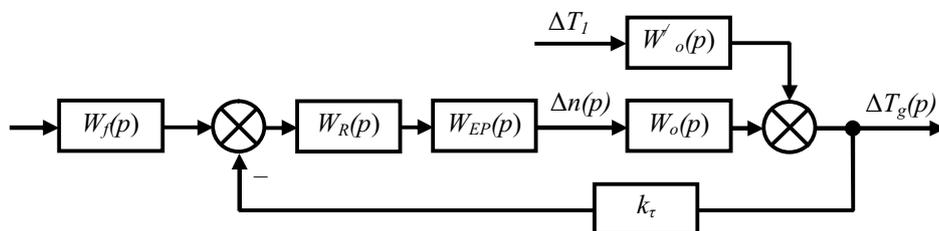
$$W_{EP}(p) = \frac{1/k_c}{T_\mu p + 1},$$

где k_c – коэффициент передачи цепи обратной связи по скорости; T_μ – постоянная времени, которая при синтезе регулятора температуры может рассматриваться в качестве «малой», некомпенсируемой.

В настоящее время при разработке систем автоматического регулирования широко используется принцип подчиненного регулирования координат [2, 3] с настройкой системы на модульный оптимум, что обеспечивает близкое к предельному быстродействие системы. Это достигается так называемой компенсацией «больших» постоянных времени и соответствующей форсировкой регулирующих воздействий на объект управления. Применительно к системе АВО быстрая ликвидация отклонения температуры газа на выходе достигается форсированным изменением частоты вращения вентиляторов, что приводит к большим динамическим нагрузкам на механическую часть привода. При этом утрачивается одно из важнейших преимуществ использования регулируемого электропривода – возможность плавного разгона двигателя с заданным ускорением. Кроме того, кратковременные отклонения температуры газа на выходе АВО, с учетом большой аккумулирующей способности последующей линейной части, являются вполне допустимыми.

С учетом изложенного синтез системы управления температурой газа представляется целесообразным вести исходя из следующих требований: САУ при наиболее неблагоприятном скачкообразном изменении основного возмущения – температуры наружного воздуха должна обеспечивать апериодический процесс изменения частоты вращения вентиляторов с ограничением максимального ускорения. Такой же процесс изменения частоты вращения должен обеспечиваться при отработке задающего воздействия. Проведем синтез системы исходя из указанных требований.

Преобразованная алгоритмическая схема системы показана на рис. 3.



Р и с. 3. Преобразованная алгоритмическая схема САУ АВО газа

На ней дополнительно показано звено с передаточной функцией $W_o'(p)$, отражающее динамику изменения температуры газа на выходе АВО при изменении температуры наружного воздуха

$$W_o'(p) = \frac{\Delta T_g(p)}{\Delta T_1(p)} = \frac{k_o'}{T_o p + 1},$$

где k_o' – коэффициент передачи объекта по возмущению.

Передаточная функция замкнутой системы для входного воздействия в виде изменения температуры наружного воздуха и выходной переменной – частоты вращения вентиляторов с учетом преобразованной схемы может быть записана в виде

$$W_z(p) = \frac{\Delta n(p)}{\Delta T_1(p)} = W_o'(p) \frac{k_\tau W_R(p) W_{EP}(p)}{1 + k_\tau W_R(p) W_{EP}(p) W_o(p)}. \quad (1)$$

Используем в системе пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор с передаточной функцией

$$W_R(p) = \frac{T_1 p + 1}{T_2 p}.$$

ПИ-регулятор позволяет компенсировать одну большую постоянную времени и тем самым ускорить протекание переходных процессов. Кроме того, благодаря интегральной составляющей ПИ-регулятор позволяет свести теоретически до нуля отклонение выходной величины от заданного значения в установившихся режимах.

Примем $T_1 = T_0$. Тогда после преобразований выражение (1) примет вид

$$W_z(p) = \frac{k_o' / k_o}{\frac{T_\mu T_2}{k_p} p^2 + \frac{T_2}{k_p} p + 1},$$

где $k_p = k_o k_{EP} k_\tau$ – коэффициент усиления разомкнутой системы.

Учитывая, что $T_\mu \ll T_2$, приближенно можно записать

$$W_z(p) \cong \frac{k_o' / k_o}{T_2' p + 1},$$

где $T_2' = \frac{T_2}{k_p}$.

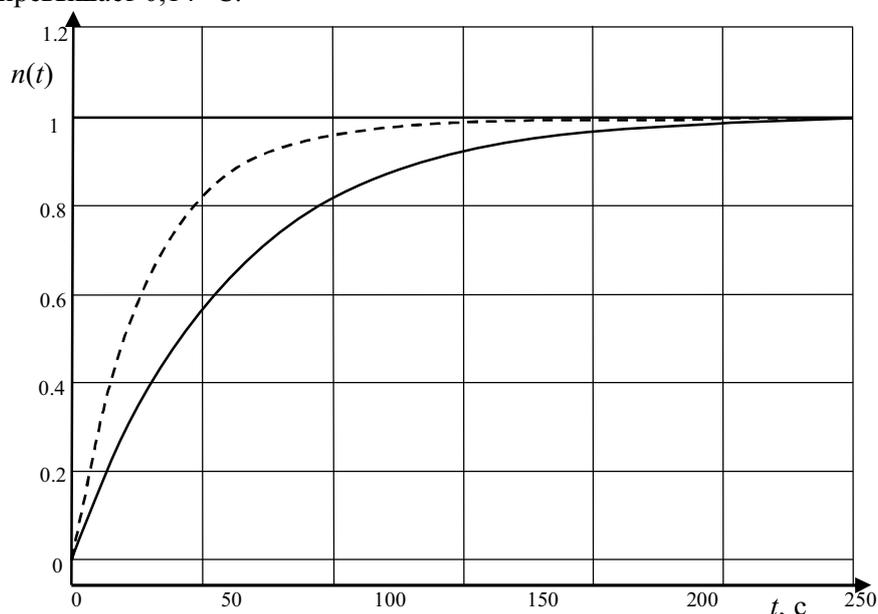
Таким образом, передаточная функция САУ относительно рассматриваемых переменных эквивалентна передаточной функции аperiodического звена. Следовательно, при скачкообразном изменении температуры наружного воздуха частота вращения вентиляторов будет изменяться по аperiodическому закону. Причем за счет выбора значения T_2 можно обеспечить требуемое максимальное ускорение электропривода.

Полученные аналитически результаты подтверждаются моделированием системы на ЭВМ. При моделировании с учетом результатов экспериментальных исследований были приняты следующие значения постоянных времени объекта управления и электропривода: $T_0 = 300$ с; $T_\mu = 0,1$ с.

Переходные процессы изменения частоты вращения вентилятора при скачкообразном изменении температуры наружного воздуха приведены на рис. 4.

Как следует из графиков, за счет выбора значения постоянной времени T_2 можно обеспечить требуемый темп разгона электропривода.

Переходные процессы изменения температуры газа на выходе АВО при скачке температуры наружного воздуха показаны на рис. 5 (при моделировании величина скачка входной переменной выбиралась так, чтобы после окончания переходного процесса изменение выходной переменной в разомкнутой системе было равно 1). Из графиков следует, что максимальное отклонение температуры газа при больших значениях постоянной времени T_2 возрастает. Увеличение T_2 , как следует из предыдущих графиков, ведет к снижению темпа разгона электропривода. При этом, естественно, ликвидация отклонения температуры происходит медленнее. Однако даже в худшем случае при выбранных условиях максимальное отклонение температуры газа не превышает $0,14\text{ }^\circ\text{C}$.

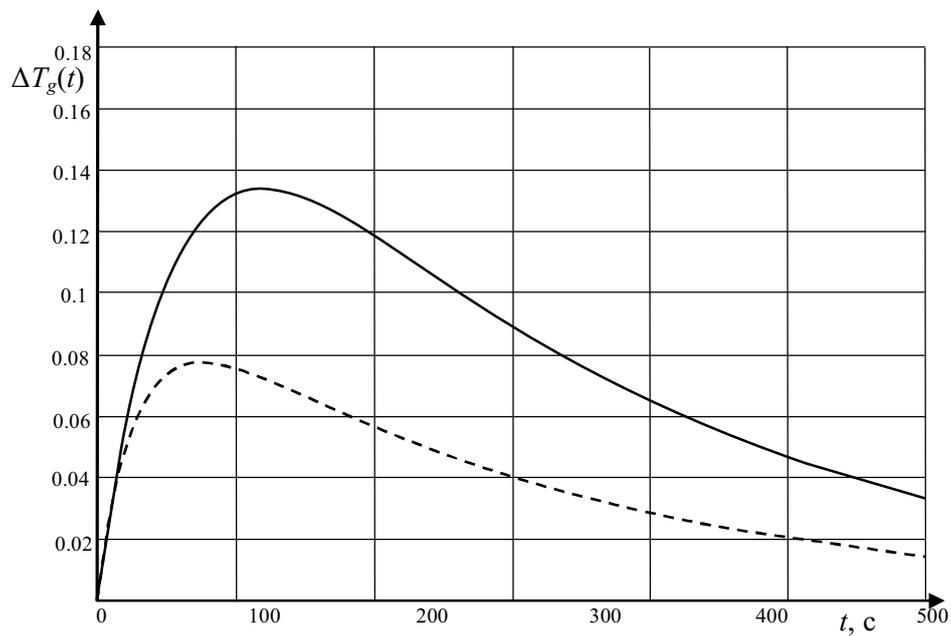


Р и с. 4. Переходный процесс изменения частоты вращения вентилятора при скачке температуры наружного воздуха: пунктирная кривая – $T_2' = 30$ с, время переходного процесса 90 с; сплошная – $T_2' = 60$ с, время переходного процесса 180 с

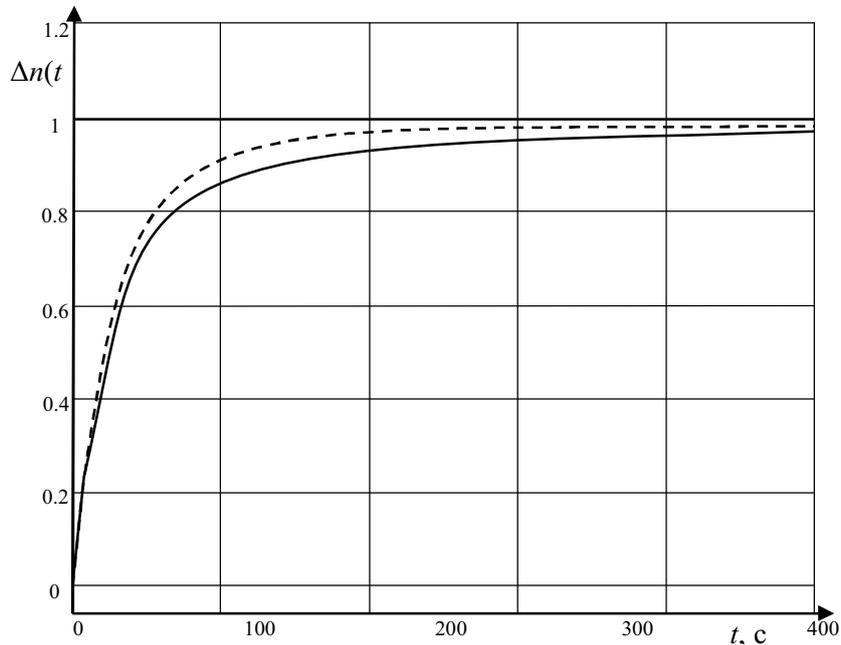
Система управления, как указывалось выше, должна также обеспечивать апериодический переходный процесс изменения частоты вращения вентиляторов при отработке задающего воздействия. Требуемый вид этого процесса может быть обеспечен установкой на входе системы задатчика интенсивности (фильтра) с передаточной функцией

$$W_f(p) = \frac{1}{T_f p + 1}.$$

Благодаря использованию фильтра переходный процесс изменения температуры газа на выходе АВО при скачке сигнала задатчика температуры, как следует из рис. 6, носит апериодический характер, а темп нарастания выходной переменной определяется величиной T_f .



Р и с. 5. Переходный процесс изменения температуры на выходе АВО при скачке температуры наружного воздуха: пунктирная кривая – $T_2=30$ с; сплошная – $T_2=60$ с



Р и с. 6. Переходный процесс изменения частоты вращения при скачке задания температуры газа: пунктирная кривая – $T_j=320$ с, время переходного процесса 150 с; сплошная – $T_j=340$ с, время переходного процесса 325 с

Таким образом, разработанная система автоматического управления температурой газа на выходе АВО обеспечивает высокое качество переходных процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Абакумов А.М.* Аналитическое и экспериментальное исследование стационарных режимов работы установок охлаждения газа компрессорных станций магистральных газопроводов / А.М. Абакумов, С.В. Алимов, Л.А. Мигачева // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2010. – №7 (28). – С. 113-117.
2. *Рапопорт Э.Я.* Системы подчиненного регулирования электроприводов постоянного тока: конспект лекций / Э.Я. Рапопорт. – Куйбышев, 1985. – 56 с.
3. *Фрер Ф.* Введение в электронную технику регулирования / Ф. Фрер, Ф. Ортенбургер. – М.: Энергия, 1973. – 423 с.

Статья поступила в редакцию 24 февраля 2011 г.

UDC 62-83:622

AUTOMATIC CONTROL IN GAS TEMPERATURE ON THE OUTPUT OF AIR COOLING UNITS

A.M. Abakumov, S.V. Alimov, L.A. Migacheva, V.N. Mosin

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

Questions of automatic control system synthesis in gas temperature on the output of gas pipelines compressor stations air cooling units are considered. Automatic control system computer modeling results are presented.

Keywords: *gas cooling units, gas temperature automatic control system.*

Alexander M. Abakumov – Doctor of Technical Sciences, Professor.

Sergey V. Alimov – Postgraduate student.

Lyudmila A. Migacheva – Candidate of Technical Sciences, Associate professor.

Vladimir N. Mosin – Postgraduate student.