

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ВЕНТИЛЯТОРОВ УСТАНОВОК ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Артюхов И. И.¹, Тарисов Р. Ш.²

¹ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.», Саратов, Россия (410054, Саратов, ул. Политехническая, 77), e-mail: epp@sstu.ru

²ООО «Газпром трансгаз Югорск», Югорск, Россия (628260, г. Югорск, ул. Мира, 15), e-mail: rtarisov@ftg.gazprom.ru

В настоящее время на объектах магистрального транспорта газа происходит интенсивное внедрение частотно-регулируемого электропривода в системах воздушного охлаждения, в частности, для стабилизации температуры газа после компримирования. Опыт создания и эксплуатации таких систем показал необходимость применения современных подходов к построению регуляторов для получения требуемого качества переходных процессов. Жесткий выбор коэффициентов ПИ-регулятора не может обеспечить требуемое качество регулирования в реальных условиях эксплуатации системы, в широком диапазоне изменений климатических условий и режима транспорта газа. В настоящей статье рассмотрена система управления частотно-регулируемым электроприводом вентиляторов установки охлаждения газа с применением нечеткой логики, представлены результаты численных экспериментов, дающие сравнительный анализ качества переходных процессов в системах управления с применением классического ПИ-регулятора и с использованием нечеткой логики.

Ключевые слова: установка охлаждения газа, система управления, ПИ-регулятор, нечеткая логика.

CONTROL SYSTEM OF VARIABLE FREQUENCY DRIVES OF FANS OF SYSTEM GAS COOLING USING FUZZY LOGIC

Artyukhov I. I.¹, Tarisov R. S.²

¹Saratov State Technical University named Gagarin Y. A., Russian Federation, Saratov (410054, Saratov, Polytechnicheskaya str., 77) e-mail: epp@sstu.ru

²LLC "Gazprom transgaz Yugirsk", Russian Federation, Yugorsk (628260, Yugorsk, Mira str., 15), e-mail: rtarisov@ftg.gazprom.ru

At present, on the objects of the main transport gas is an intensive introduction of frequency-controlled electric air cooling systems, in particular, to stabilize the temperature of the gas after compression. Development and operation of such systems has shown the need for a modern approach to the construction of regulators to obtain the desired quality of the transition. Hard setting of PI controller can not provide the required quality of regulation in the actual use of the system in a wide range of climatic conditions and the mode of transport of gas. In this paper is present the control system of variable-frequency electric fans cooling the gas plants using fuzzy logic, the results of numerical experiments, which a comparative analysis of the quality of transients in control systems with the use of classical PI controller and with the use of fuzzy logic.

Key words: gas cooler, control system, PI control, fuzzy logic.

В настоящее время на объектах магистрального транспорта газа происходит интенсивное внедрение частотно-регулируемого электропривода в системах воздушного охлаждения, в частности, для стабилизации температуры газа после компримирования [1]. Опыт создания и эксплуатации таких систем показал необходимость применения современных подходов к построению регуляторов для получения требуемого качества переходных процессов. Так, в [2, 5] показано, что жесткий выбор коэффициентов ПИ-регулятора не может обеспечить требуемое качество регулирования в реальных условиях эксплуатации системы, в широком диапазоне изменений климатических условий и режима транспорта газа.

Функциональная схема системы стабилизации температуры газа с частотно-регулируемым электроприводом вентиляторов аппаратов воздушного охлаждения (АВО) газа представлена на рис.1.

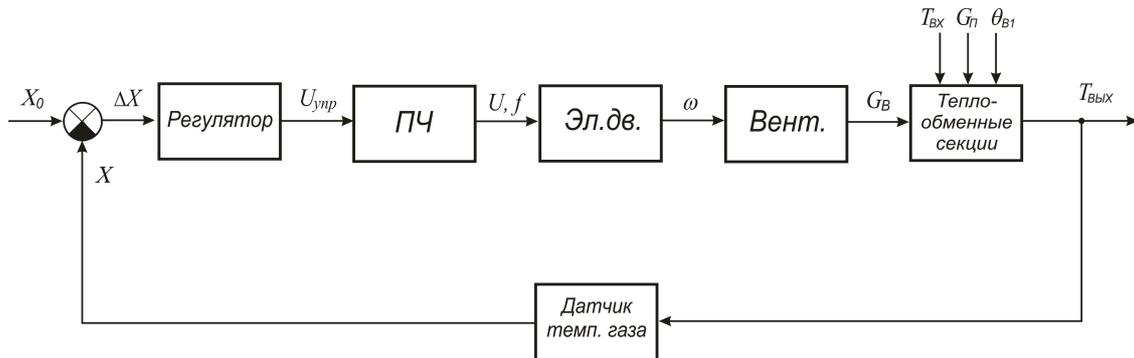


Рис. 1. Функциональная схема системы стабилизации температуры газа с частотно-регулируемым электроприводом вентиляторов

Сигнал с датчика температуры газа сравнивается с сигналом задатчика. Полученная разность сигналов $\Delta X = X_0 - X$ подается на вход регулятора, который с помощью сигнала $U_{упр}$ задает частоту f и напряжение U на выходе преобразователей частоты. Если в силу каких-либо причин температура газа на выходе АВО газа отличается от заданного значения, то регулятор так изменяет частоту f и напряжение U , чтобы за счет изменения частоты вращения ω и соответствующего изменения расхода воздуха G_B , создаваемого вентиляторами, температура газа $T_{вых}$ стремилась к заданному значению. Возмущающими воздействиями в системе стабилизации температуры газа являются массовый расход газа $G_{п}$, его температура $T_{вх}$ на входе АВО, температура θ_B охлаждающего воздуха.

В [2] предложено двигатели, вентиляторы и теплообменные секции, образующие конструктив АВО газа, рассматривать как одно динамическое звено с передаточной функцией $W_{АВО}(p)$. На основании экспериментальных данных эта передаточная функция может быть идентифицирована инерционным звеном первого порядка

$$W_{АВО}(p) = \frac{k_{АВО}}{T_{АВО}p + 1},$$

где $k_{АВО}$, $T_{АВО}$ – соответственно коэффициент передачи и постоянная времени АВО.

В [5] показано, что значение $k_{АВО}$ зависит от значений параметров: массовый расход газа $G_{п}$, его температура $T_{вх}$ на входе АВО, температура θ_B охлаждающего воздуха.

В [4] рассмотрена одна из методик синтеза адаптивного регулятора на основе метода нечеткого управления Мамдани. В настоящей работе показаны результаты моделирования системы управления частотно-регулируемым электроприводом вентиляторов установки

охлаждения газа с применением нечеткой логики. Структурная схема системы приведена на рис. 2.

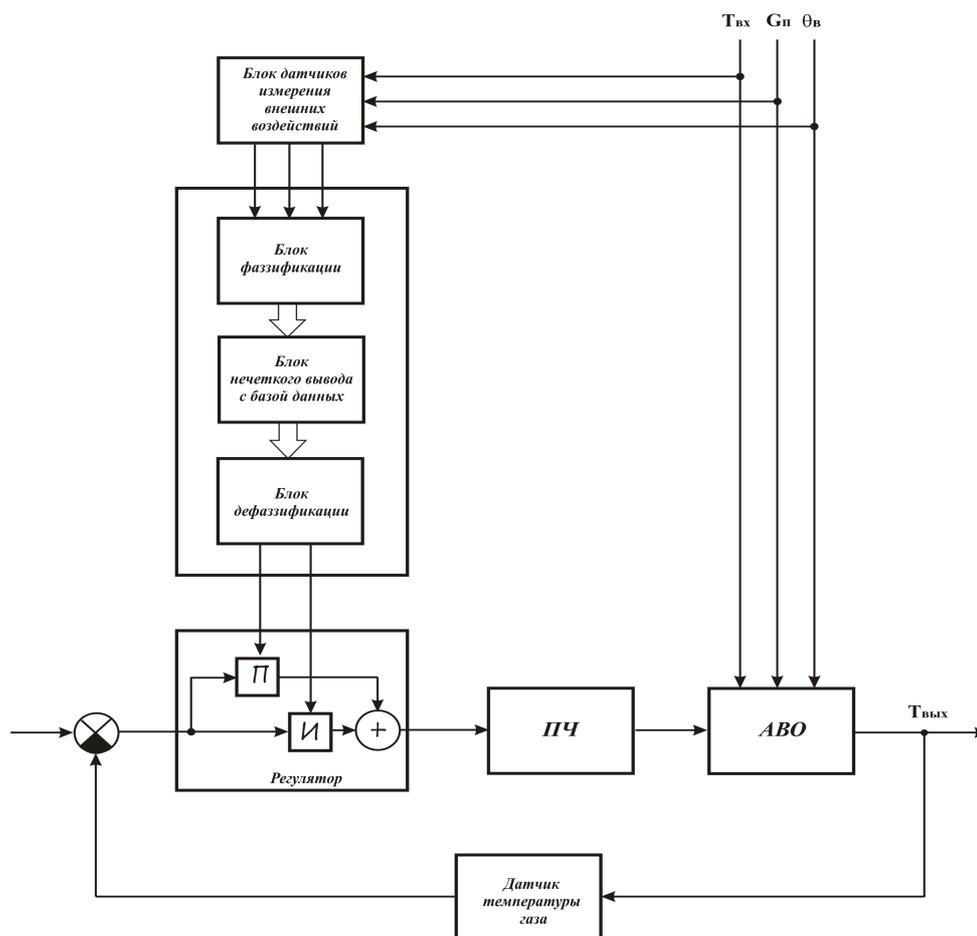


Рис. 2. Структурная схема системы управления частотно-регулируемым электроприводом вентиляторов установки охлаждения газа

Сигналы θ_v , $T_{звх}$, G_z , с блока датчиков измерения возмущающих воздействий поступают на вход блока фазификации. Для полученных значений параметров находят степени предпосылок каждого правила

$$q_i = \mu_{Q_i}(\theta); \quad t_i = \mu_{T_i}(T_{звх}); \quad g_i = \mu_{G_i}(G_z),$$

где q_i, t_i, g_i – степени истинности предпосылок; $\mu_{Q_i}(\theta)$, $\mu_{T_i}(T_{звх})$, $\mu_{G_i}(G_z)$ – функции принадлежности соответствующих переменных.

Полученные степени предпосылок передаются в блок нечеткого вывода с базой правил, в котором по каждому из правил находятся «усеченные» функции принадлежности переменных выхода (с применением операции логического МИНИМУМА):

$$\mu_{P_i}^*(KP) = \min_{KP} (q_i, t_i, g_i, \mu_{P_i}(KP)), \quad \mu_{K_i}^*(KI) = \min_{KI} (q_i, t_i, g_i, \mu_{K_i}(KI)).$$

Далее в этом же блоке осуществляется этап композиции: с использованием операции МАКСИМУМ производится объединение усеченных функций, что приводит к получению итогового нечеткого подмножества для переменных вывода с функцией принадлежности

$$\mu_p(KP) = \max_{KP} [\mu_{p_1}^*(KP), \mu_{p_2}^*(KP), \dots, \mu_{p_n}^*(KP)];$$

$$\mu_l(KI) = \max_{KI} [\mu_{l_1}^*(KI), \mu_{l_2}^*(KI), \dots, \mu_{l_n}^*(KI)].$$

Полученные функции принадлежности передаются в блок дефазификации, в котором производится приведение к четкости выходных переменных. Приведение производится центроидным методом: четкое значение выходной переменной определяется как центр тяжести полученных ранее функций принадлежности, т.е

$$\dot{KP} = \frac{\int_{\Omega_p} KP \cdot \mu_p(KP) dKP}{\int_{\Omega_p} \mu_p(KP) dKP}, \quad \dot{KI} = \frac{\int_{\Omega_i} KI \cdot \mu_i(KI) dKI}{\int_{\Omega_i} \mu_i(KI) dKI},$$

где Ω_p , Ω_i – области определений $\mu_p(KP)$ и $\mu_i(KI)$ соответственно.

Полученные выходные данные \dot{KP} , \dot{KI} далее поступают на вход ПИ-регулятора.

С целью определения нечеткой модели объекта проведены исследования для диапазонов изменения параметров θ_{B1} (от 8°C до 20°C) и T_{BX} (от 25 °C до 35 °C) при постоянном массовом расходе газа, в результате чего получена зависимость k_{ABO} от возмущающих воздействий.

Полученные результаты положены в основу настройки (базы правил) нечеткого вывода с входными лингвистическими переменными «Температура газа T_{BX} » и «Температура воздуха θ_{B1} » и выходной переменной «коэффициент k_{ABO} ». Поверхность нечеткого вывода, полученная в среде MATLAB+ Simulink, показана на рис.3.

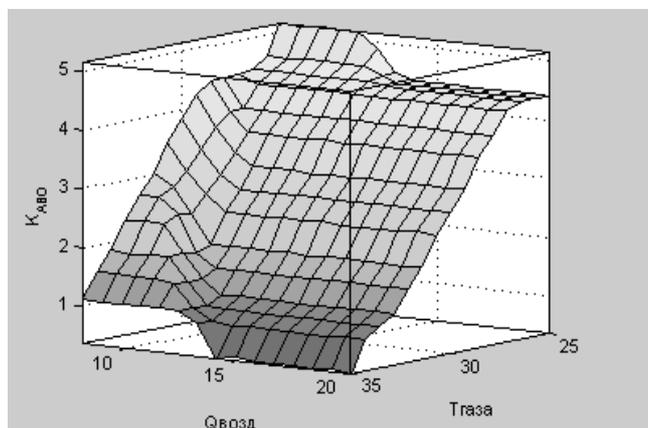


Рис. 3. Поверхность нечеткого вывода

Проведен численный эксперимент, целью которого было получение сравнительных характеристик качества регулирования в системе стабилизации температуры газа с частотно-регулируемым электроприводом вентиляторов с применением классического ПИ-регулятора и гибридного ПИ-регулятора с нечеткой логикой. Модель в среде MATLAB+Simulink, используемая в эксперименте, показана на рис. 4.

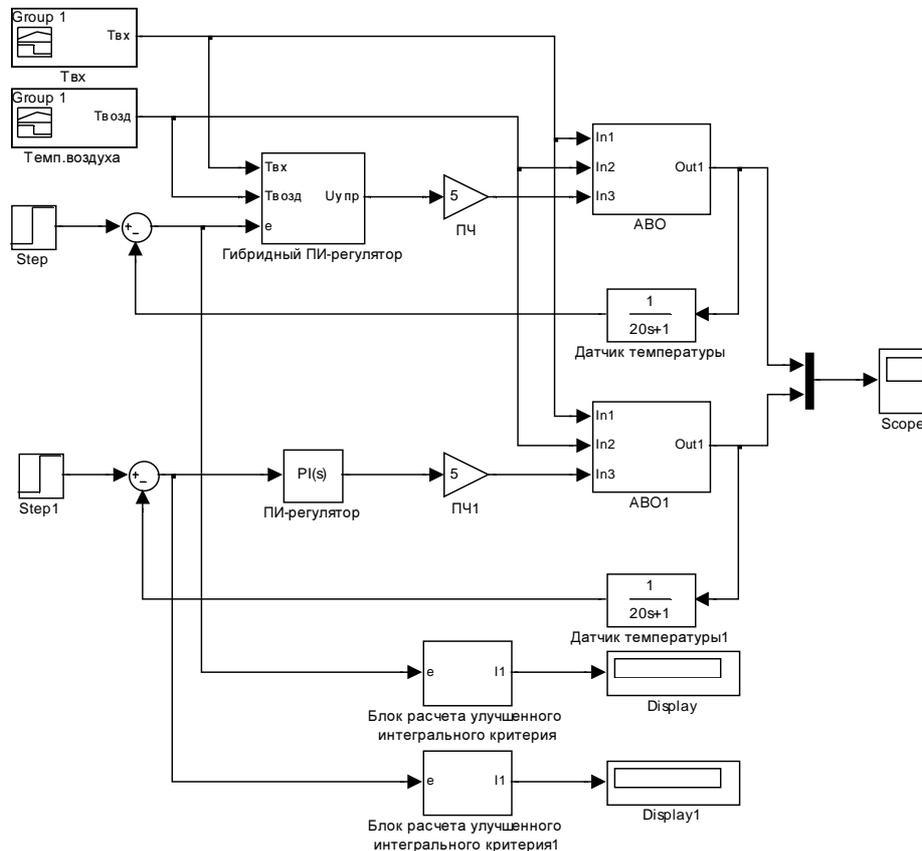


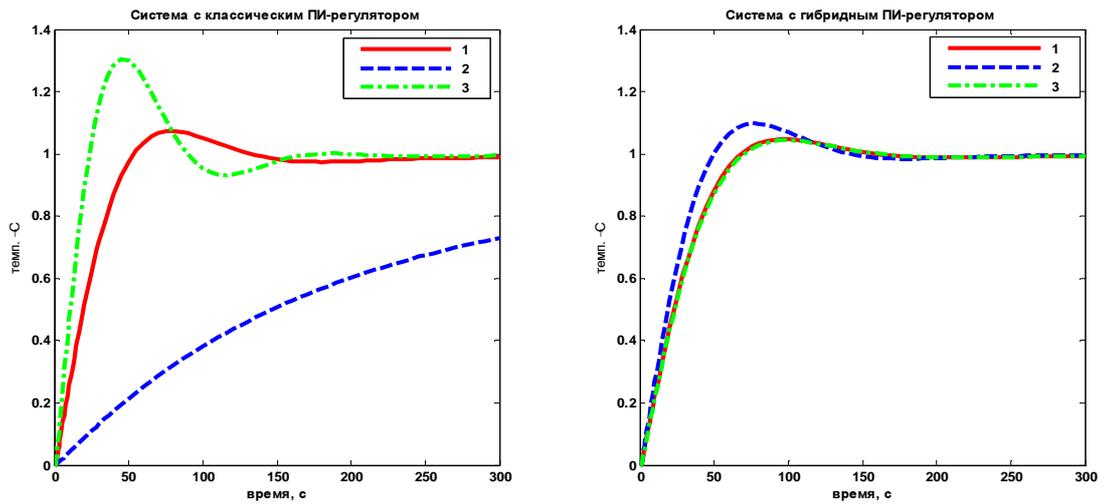
Рис. 4. Виртуальная модель для сравнительного расчета качества переходных процессов в системе стабилизации температуры газа

Настройки классического ПИ-регулятора произведены при средних значениях температуры газа T_{BX} на входе АВО и температуры θ_B охлаждающего воздуха.

В качестве основных критериев оценки качества переходных процессов были выбраны: время переходного процесса, перерегулирование и улучшенный интегральный критерий. Выбор улучшенного интегрального критерия обоснован тем, что при помощи него можно оценить качество переходного процесса не только по быстродействию системы, но и по отсутствию колебательности и перерегулирования в системе [3]. Качество переходного процесса будет выше в той системе, в которой значение интегрального критерия меньше.

Требования, выставляемые к качеству переходных процессов: перерегулирование не должно превышать 10 % от задания; максимальное время переходного процесса 200 с.

Графические результаты проведенного эксперимента приведены на рис.5.



(1) – при $\theta_{B1}=14^{\circ}\text{C}$ и $T_{BX}=30^{\circ}\text{C}$. (2) – при $\theta_{B1}=20^{\circ}\text{C}$ и $T_{BX}=35^{\circ}\text{C}$. (3) – при $\theta_{B1}=8^{\circ}\text{C}$ и $T_{BX}=25^{\circ}\text{C}$.

Рис.5. Реакция системы на единичный ступенчатый сигнал

Значения интегрального критерия для системы с классическим ПИ-регулятором составили: при $\theta_{B1}=14^{\circ}\text{C}$ и $T_{BX}=30^{\circ}\text{C}$ – 40.35, при $\theta_{B1}=20^{\circ}\text{C}$ и $T_{BX}=35^{\circ}\text{C}$ – 131.8, при $\theta_{B1}=8^{\circ}\text{C}$ и $T_{BX}=25^{\circ}\text{C}$ – 43.28; для системы с гибридным ПИ-регулятором: 41.65, 40.5, 41.73 соответственно.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

- 1) Классический ПИ-регулятор с фиксированной настройкой на усредненные значение k_{ABO} дал удовлетворительные результаты только в некоторой области изменения возмущающих воздействий, при которых регулятор был настроен (сплошная красная линия - 1).
- 2) При крайних значениях k_{ABO} либо время регулирования значительно превышает заданные (пунктирная синяя линия – 2), либо перерегулирование превышает требуемые 10 % (штрихпунктирная линия – 3). Менее качественный переходный процесс, в сравнении с системой использующий гибридный регулятор, подтверждается также значением интегрального критерия.
- 3) Гибридный ПИ-регулятор с нечеткой логикой дает удовлетворительное качество регулирования на всем диапазоне изменений возмущающих факторов. Уменьшение интегрального критерия, с целью получения более качественных переходных процессов в системе, может быть достигнуто за счет дополнительной подстройки функций принадлежности нечеткой модели.

Список литературы

1. Аршакян И. И., Тримбач А. А., Артюхов И. И. Опыт создания и эксплуатации системы стабилизации температуры газа с частотно-регулируемым электроприводом вентиляторов аппаратов воздушного охлаждения // Проблемы электроэнергетики: сб. науч.тр. – Саратов: СГТУ, 2008. – С.45 – 54.
2. Динамика системы стабилизации температуры с частотно-регулируемым электроприводом вентиляторов аппаратов воздушного охлаждения / И. И. Артюхов, И. И. Аршакян, Р. Ш. Тарисов и др. // Проблемы электроэнергетики: сб. науч.тр. – Саратов: СГТУ, 2010. – С. 145 – 150.
3. Иващенко Н. Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. – М.: Машиностроение, 1978. – 736 с.
4. Нечеткий регулятор в системе стабилизации температуры газа / И. И. Артюхов, Н. П. Митяшин, Р. Ш. Тарисов и др. // Инновационные технологии в обучении и производстве: материалы VII Всерос. научно-практ. конф. (Камышин, 22 – 23 декабря 2010 г.). – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – Т.1. – С. 108 – 111.
5. Устойчивость системы стабилизации температуры газа с частотно-регулируемым электроприводом вентиляторов / И. И. Артюхов, И. И. Аршакян, Р. Ш. Тарисов и др. // Проблемы электроэнергетики: сб. науч. тр. – Саратов: СГТУ, 2009. – С. 141 – 148.

Рецензенты:

Митяшин Никита Петрович, д.т.н., профессор кафедры «Системотехника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А., г. Саратов.

Архангельский Юрий Сергеевич, д.т.н., профессор кафедры «Автоматизированные электротехнологические установки и системы» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А., г. Саратов.