

УДК 681.51

М. Ю. Подобед, В. В. Сарока

Белорусский государственный технологический университет

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ПО ОБОБЩАЮЩЕМУ КРИТЕРИЮ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА

В большинстве систем кондиционирования воздуха (СКВ) центральное место занимают различного типа калориферные установки. При рассмотрении работы таких установок традиционно прибегают к упрощенному аппарату математического описания протекающих процессов теплопередачи. На самом же деле, при рассмотрении работы калориферной установки по каналу «изменение расхода теплоносителя – температура воздуха» постоянная времени и коэффициент передачи меняются в широком диапазоне и могут оказывать существенные влияния на систему автоматического управления. Коэффициент передачи и постоянная времени калорифера по каналу «расход теплоносителя – температура приточного воздуха» имеют нелинейный характер и меняются в широком диапазоне. В осенне-весенние периоды при минимальных протоках теплоносителя через трубки калорифера и минимальной его теплопроизводительности инерционность калориферной установки может достигать инерционности обслуживаемого помещения. Поэтому целесообразно рассмотреть возможность применения в контуре автоматического управления системой кондиционирования воздуха регулятора, который непрерывно адаптировался бы под изменяющиеся свойства объекта управления, а также определить критерий, который бы позволял производить однозначную адаптацию.

Ключевые слова: система кондиционирования воздуха, калорифер, постоянная времени, система адаптации, обобщенный критерий температурного режима.

M. Yu. Podobed, V. V. Saroka

Belarusian State Technological University

ADAPTIVE MANAGEMENT OF AIR CONDITIONING SYSTEM BY GENERALIZED TEMPERATURE MODE CRITERIA

In most air-conditioning systems (SLE), the central place is occupied by a different type of air-heater. When considering the operation of such installations, a simplified apparatus for mathematical description of the ongoing heat transfer processes is traditionally used. In fact, when considering the operation of the air-conditioning unit through the channel “changing the coolant flow rate – air temperature” the time constant, and the transmission factor vary in a wide range, and can have significant effects on the automatic control system. The transmission coefficient and time constant of the air heater on the channel “coolant flow rate – supply air temperature” are non-linear and vary in a wide range. In the autumn-spring periods with minimal heat carrier flows through the tubes of the air heater and its minimum heat output, the inertia of the air-heater can reach the inertia of the room served. Therefore, it is advisable to consider the possibility of using a regulator in the automatic control loop of the air conditioning system, which has continuously adapted to the changing properties of the control object, and to determine a criterion that would allow for unambiguous adaptation.

Key words: air conditioning system, air heater, time constant, adaptation system, generalized temperature regime criterion.

Введение. Коэффициент передачи K и постоянная времени T_k калорифера в системе кондиционирования воздуха существенно меняется в зависимости от расхода теплоносителя и температуры наружного воздуха, поэтому целесообразно рассмотреть возможность применения регулятора с переменной структурой в контуре управления температурой приточного воздуха или нескольких регуляторов, переключение между которыми производилось бы в зависимости от критерия, характеризующего динамические характеристики калорифера в определенные моменты времени.

Основная часть. Рассмотрим выражение для расчета температуры приточного воздуха после калорифера:

$$t_B = t_{BH} + \frac{t_{WH} - t_{BH}}{\left(\frac{1}{kF} + \frac{1}{2G_W c_W} + \frac{1}{2c_B \rho_B L} \right) c_B \rho_B L},$$

где t_B – температура воздуха после калорифера, °C; t_{BH} – температура наружного воздуха, °C; t_{WH} – температура теплоносителя на входе в калорифер, °C; k – коэффициент теплоотдачи, Вт/м² · °C; F – площадь поверхности нагрева калорифера, м²; G_W – массовый расход тепло-

носителя, кг/с; c_W – теплоемкость теплоносителя, Дж/кг · К; c_B – удельная теплоемкость воздуха, Дж/кг · К; ρ_B – плотность воздуха при средней температуре воздуха, кг/м³; L – объемный расход воздуха, м³/с.

Обозначим знаменатель через g , тогда:

$$t_B = t_{BH} + \frac{t_{WH} - t_{BH}}{g}$$

или

$$g = \frac{t_{WH} - t_{BH}}{t_B - t_{BH}} = \frac{1}{K_B},$$

где K_B – коэффициент нагрева воздуха, который определяется по формуле [1]

$$K_B = \frac{t_B - t_{BH}}{t_{WH} - t_{BH}}.$$

Температура теплоносителя на входе в калорифер зависит от наружной температуры по отопительному графику (коэффициенты k и b), тогда

$$K_B = \frac{t_B - t_{BH}}{kt_{BH} + b - t_{BH}} = \frac{t_B - t_{BH}}{t_{BH}(k-1) + b}.$$

При известных параметрах температурного графика системы отопления для системы кондиционирования воздуха (СКВ) по значениям температуры приточного и наружного воздуха, можно рассчитать значение коэффициента эффективности воздухонагрева K_B . Таким образом, коэффициент эффективности по воздуху K_B зависит от t_B и t_{BH} , точнее от перепада температуры по воздуху до и после теплообменника. Вариация любого из значений температур (t_B или t_{BH}) спустя какое-то время приведет СКВ к новому стационарному состоянию, с новым значением K_B . Причем K_B можно рассчитать заранее, до начала переходного процесса. Учитывая тот факт, что рассматривается система с постоянным расходом воздуха, то значение K_B точно определяет расход теплоносителя в новом установившемся режиме. Расход теплоносителя в стационарном режиме G_W , при качественном регулировании, можно рассматривать в зависимости от K_B (t_B или t_{BH}):

$$G_W = f(K_B) = f(t_B, t_{BH}).$$

Проанализируем зависимость для расчета постоянной времени калорифера [2]:

$$T_K = \frac{c_M m_M + c_W m_W}{c_W G_W + \left[\frac{2}{A \left(\frac{\rho_B L}{f} \right)^n \left(\frac{G_W}{\rho_W f_W} \right)^m F} + \frac{1}{c_W G_W} \right]^{-1}},$$

где c_M – удельная теплоемкость металла, Дж/кг · К; m_M, m_W – масса металла теплообменника и теплоносителя в калорифере, кг; f – площадь фронтального сечения калорифера по воздуху, м²; f_W – средняя площадь живого сечения одного хода теплообменника, м²; ρ_W – плотность теплоносителя при средней температуре воздуха, кг/м³; A, n, m – коэффициенты теплопередачи калорифера.

При постоянном расходе воздуха L справедлива запись:

$$T_K = f(G_W) = f(K_B) = f(t_B, t_{BH}).$$

Изменение температуры приточного воздуха от расхода теплоносителя при различных температурных режимах (для отопительного графика 105/70) приведено на рис. 1. Из графика видно, что одной и той же температуре приточного воздуха при различных значениях наружной температуры и температуры теплоносителя на входе в калорифер соответствуют различные расходы теплоносителя.

Статический коэффициент передачи калорифера по каналу «температура приточного воздуха – расход теплоносителя» K рассчитывается по формуле

$$K = \frac{t_B}{G_W}.$$

Из зависимости для расчета температуры приточного воздуха для различных температурных режимов, т. е. при $t_{BH} = \text{const}$ и $t_{WH} = \text{const}$ (из температурного графика) можно заметить, что t_B находится в зависимости от расхода теплоносителя. Следовательно, для любого значения наружной температуры верно утверждение, что статический коэффициент передачи зависит от расхода теплоносителя:

$$K = f(G_W).$$

Из вышеизложенного очевидно, что при каждом значении температуры наружного воздуха динамические характеристики калорифера T_K и K определяются расходом теплоносителя (и K_B), который определяется перепадом температур по воздуху t_B и t_{BH} . Поэтому, целесообразно рассматривать коэффициент эффективности по воздуху K_B в качестве обобщающего критерия температурного режима, который определяет динамические характеристики калорифера.

Учитывая тот факт, что характеристики остальных элементов (датчик, исполнительный механизм) в замкнутом контуре локальной системы управления не существенно изменяются во времени и не зависят от других факторов, то

настройки параметров регулятора будут зависеть от постоянной времени T_k , статического коэффициента передачи калорифера K и гидравлической характеристики клапана. В отличие от постоянной времени калорифера со строгой зависимостью от расхода теплоносителя, статический коэффициент можно рассматривать, как зависящий от расхода только при постоянной температуре наружного воздуха. То есть для каждого значения температуры наружного воздуха можно однозначно идентифицировать динамические характеристики калорифера по ранее полученным зависимостям. В связи с этим САУ должна адаптировать настройки регулятора под изменяющиеся параметры нелинейного объекта.

Для системы кондиционирования воздуха режимы работы меняются в зависимости от температуры наружного воздуха в диапазоне от -25 до $+10^\circ\text{C}$, а ранее полученные зависимости позволяют рассчитать динамические характеристики калорифера для каждого режима работы.

За величину, однозначно характеризующую режим работы, целесообразно принять температуру наружного воздуха. А в качестве обобщающего критерия температурного режима, который определяет динамические характеристики калорифера, целесообразно рассматривать коэффициент эффективности по воздуху K_B . Таким образом, можно получить следующую табл. 1, характеризующую все множество возможных состояний системы в контрольных точках.

Применим метод адаптации с табличным управлением: зная заранее возможные измене-

ния режима работы системы, выполняют идентификацию объекта для нескольких разных режимов и для каждого из них находят параметры регулятора. Значения этих параметров записывают в таблицу. В процессе функционирования системы измеряют величину, которая характеризует режим работы системы, и, в зависимости от ее значений, выбирают из таблицы значения коэффициентов ПИД-регулятора.

Табличное управление характеризуется высоким быстродействием, отсутствием ложного срабатывания или расхождения алгоритмов адаптации. В общем случае таблица может быть многомерной; для снижения необходимой размерности таблицы можно использовать интерполяцию данных с помощью сплайна [3].

Для каждого контрольного состояния системы, зная расходы теплоносителя, однозначно можно определить динамические характеристики калорифера и настройки регулятора, это значит, что можно получить таблицу управления (табл. 2).

Переключение между столбцами в таблице настроек регулятора должно происходить по значению температуры наружного воздуха, выбор строки в таблице должен осуществлять по расчетному значению коэффициента нагрева воздуха K_B для желаемого значения температуры приточного воздуха. При несовпадении реальных рабочих точек с контрольными необходимо применить интерполяцию данных сначала по ближайшим двум столбцам, а затем по строке. Структурная схема САУ приведена на рис. 2.

Таблица 1

Множество возможных состояний калорифера в контрольных точках

K_B	Температура наружного воздуха $t_{вн}$							
	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10
0	G_W (-25; 0)	G_W (-20; 0)	G_W (-15; 0)	G_W (-10; 0)	G_W (-5; 0)	G_W (0; 0)	G_W (5; 0)	G_W (10; 0)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N	G_W (-25; N)	G_W (-20; N)	G_W (-15; N)	G_W (-10; N)	G_W (-5; N)	G_W (0; N)	G_W (5; N)	G_W (10; N)

Таблица 2

Множество настроек регулятора в контрольных точках

K_B	Температура наружного воздуха $t_{вн}$							
	25	-20	-15	-10	-5	0	5	10
0	Per (-25; 0)	Per (-20; 0)	Per (-15; 0)	Per (-10; 0)	Per (-5; 0)	Per (0; 0)	Per (5; 0)	Per (10; 0)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N	Per (-25; N)	Per (-20; N)	Per (-15; N)	Per (-10; N)	Per (-5; N)	Per (0; N)	Per (5; N)	Per (10; N)

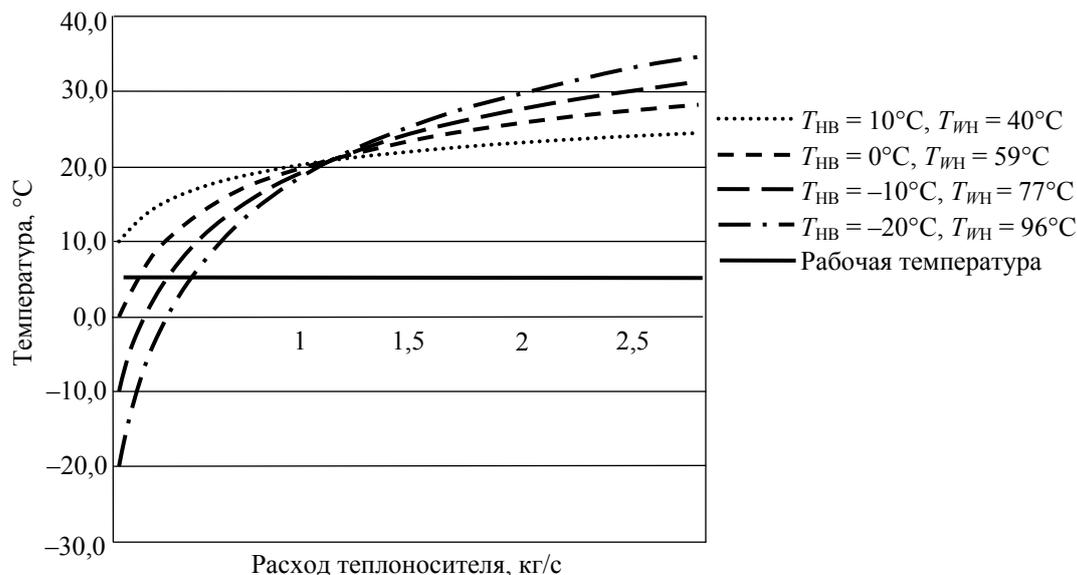


Рис. 1. Изменение температуры приточного воздуха

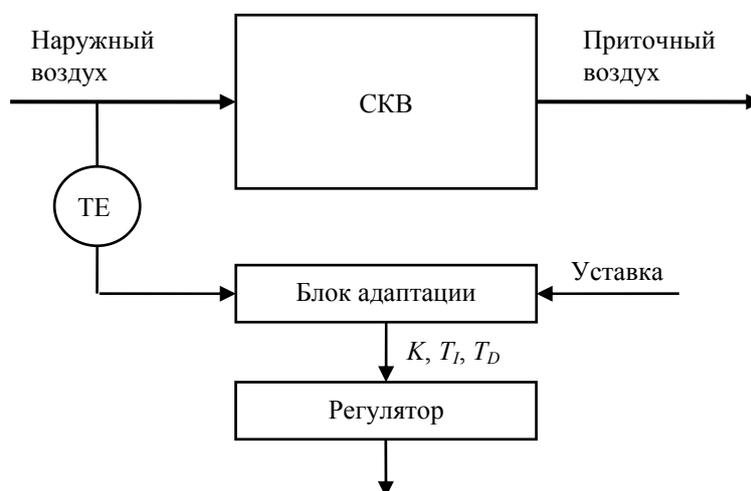


Рис. 2. Структурная схема САУ СКВ с табличной адаптацией

Заключение. В данной статье для модели СКВ с динамически меняющимися характеристиками были проанализированы зависимости коэффициентов от внешних факторов. Постоянная времени калорифера зависит от расхода теплоносителя и практически не подвержена влиянию температур наружного воздуха и температуры теплоносителя на входе. Статический коэффициент передачи калорифера зависит не только от расхода теплоносителя, но и от температур среды на входе, и способен изменяться в достаточно большом диапазоне от среднего значения для всех возможных режимов эксплуатации. Учитывая вышеизложенные факты, и то, что характеристики остальных элементов в замкнутом контуре локальной системы управления несущественно изменяются во времени и не зависят от других факторов, то настройки регулятора будут зависеть от постоянной вре-

мени T_K , статического коэффициента передачи калорифера K и гидравлической характеристики клапана. Таким образом, для каждого значения температуры наружного воздуха можно однозначно идентифицировать динамические характеристики калорифера.

Была предложена САУ СКВ с блоком адаптации, в котором хранится множество настроек регулятора (в виде таблицы), каждая из которых применялась бы в работу в зависимости от режима работы и температурного режима. Блок адаптации на основании желаемой температуры приточного воздуха t_B , температуры наружного $t_{\text{ВН}}$, характеристик температурного графика системы отопления просчитывает значение коэффициента эффективности нагрева воздуха K_B . Далее, по полученным опытным путем таблицам значений параметров регулятора для расчетного значения K_B формируются действующие

щие значения P и I , составляющих регулятора. Полученная САУ адаптируется под изменяющиеся требования управления, и показывает луч-

шие результаты по сравнению с классическими САУ с ПИД-регуляторами со стационарными настройками, применяющимися в СКВ.

Литература

1. Сотников А. Г. Автоматизация систем кондиционирования воздуха и вентиляции. Л.: Машиностроение, 1984. 240 с.
2. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Е. С. Бондарь [и др.]. Киев: Аванпост-Прим, 2005. 562 с.
3. Денисенко В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации // СТА. 2008. № 1. С. 86–99.

References

1. Sotnikov A. G. *Avtomatizatsiya sistem i konditsionirovaniya vozdukhа i ventilyatsii* [Automation of air conditioning and ventilation systems]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1984. 240 p.
2. Bondar' E. S., Gordienko A. S., Mikhaylov V. A., Nimich G. V. *Avtomatizatsiya sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukhа* [Automation of ventilation and air conditioning systems]. Kiev, Avantpost-Prim Publ., 2005. 562 p.
3. Denisenko V. PID-regulators: implementation issues. *STA* [Modern automation technologies], 2008, no. 1, pp. 86–99.

Информация об авторах

Подобед Михаил Юрьевич – ассистент кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gabazin@mail.com

Сарока Виктор Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: viksar@mail.ru

Information about the authors

Podobed Mikhail Yur'yevich – assistant lecturer, the Department of Automation of Production Processes and Electrical Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gabazin@mail.com

Saroka Viktor Viktorovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Automation of Production Processes and Electrical Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: viksar@mail.ru

Поступила 22.11.2017