

УДК 004.94

М. Ю. Подобед, Д. С. Карпович

Белорусский государственный технологический университет

**ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КАЛОРИФЕРНЫМИ УСТАНОВКАМИ
В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА**

В составе большинства систем кондиционирования воздуха ключевую роль играют калориферные установки. При помощи данных аппаратов регулируется температура воздуха в помещении. При математическом моделировании систем кондиционирования воздуха нельзя пренебрегать нелинейными свойствами калориферных установок, так как это неминуемо приведет к неадекватности получаемой модели и к неточностям синтезируемой системы автоматического управления.

Учитывая большое количество разновидностей калориферов, разнообразие схем реализации систем кондиционирования воздуха и способов управления теплоотдачей, в работе были выделены основные виды возмущающих и управляющих воздействий для систем кондиционирования воздуха. На основании структурной схемы обобщенной системы кондиционирования приточного воздуха составлены системы уравнения тепло- и массового баланса теплоносителя и воздуха, наиболее точно отражающие все происходящие процессы.

Были показаны свойства калориферных установок, которые динамически меняются во времени в широком диапазоне регулирования расхода теплоносителя в трубках теплообменника. Также сформированы рекомендации по выбору способа гидравлической обвязки калорифера в системах кондиционирования воздуха с точки зрения улучшения настройки регулятора и увеличения точности работы системы автоматического управления.

Ключевые слова: система кондиционирования воздуха, калорифер, постоянная времени, гидравлическая обвязка калорифера.

M. Yu. Podobed, D. S. Karpovich

Belarusian State Technological University

**FEATURES OF CONTROL OF AIR HEATER UNITS
IN AIR CONDITIONING SYSTEMS**

The air-heater systems play a key role in the majority of air-conditioning systems. With the help of these devices the air temperature is regulated indoors. The nonlinear properties of air heater units, can't be neglected as it will inevitably lead to the inadequacy of the model obtained and synthesized accuracies automatic control system for mathematical modeling of air conditioning systems.

Given the large number of varieties of heaters, the diversity scheme of the air conditioning systems and ways to manage heat dissipation in the main types were identified disturbing and control actions for air condition systems. On the basis of the block diagram of a generalized supply air conditioning system composed of equations of heat and mass balance of the coolant and the air most accurately reflect all the processes.

The nonlinear properties of air heater units that dynamically change in time over a wide range of coolant flow control in the heat exchanger tubes were shown. Recommendations are also formed at the choice method of hydraulic piping heater in air conditioning systems in terms of improving the settings regulator and increase the accuracy of the automatic control system.

Key words: air conditioning, heater, the time constant, the hydraulic piping heater.

Введение. Практически во всех инженерных системах здания, обеспечивающих комфортные параметры микроклимата в помещении, используются различные виды теплообменных аппаратов. Это относится не только к системам кондиционирования воздуха, но и к системам радиаторного отопления, воздушного отопления, зональным подогревателям, системам рекуперации тепла и т. д. В системах центрального кондиционирования чаще всего находят применение теплообменные аппараты (калориферы) типа «жидкость – воздух», практически полностью вытеснив устаревшие сис-

темы «пар – воздух» [1]. Поэтому без преувеличения можно сказать, что калорифер, как правило, является основным элементом систем кондиционирования воздуха. В самых простых приточных системах имеется хотя бы один калорифер, в котором горячая вода отдает свое тепло приточному воздуху.

Любой калорифер представляет собой объект с распределенными параметрами со значительной неоднородностью температур воздуха и теплоносителя. Температура изменяется вдоль трубки в пределах одного хода, между ходами и между рядами. Неравномерность тем-

пературы воздуха на выходе из калорифера может составлять десятки градусов и приближаться к половине перепада температур теплоносителя. В силу распределенности параметров математическое описание и анализ динамических характеристик калориферов крайне осложнены. Учитывая тот факт, что в системах кондиционирования приточный воздух, принудительно побуждаемый вентилятором, движется после калорифера турбулентно и активно перемешивается, то по этой причине в дальнейшем целесообразно и обоснованно рассматривать калорифер как объект с сосредоточенными параметрами.

Основная часть. Структурная схема системы кондиционирования воздуха с калорифером типа «теплоноситель – воздух» представлена на рис. 1. Учитывая все разнообразие схем реализации систем кондиционирования воздуха, и способов управления теплоотдачей калорифера, можно выделить следующие возмущающие воздействия [2]:

- 1) $t_{ВН}$ – температура наружного воздуха, °С;
- 2) $t_{ВН}$ – температура теплоносителя на входе в калорифер, °С;
- 3) $G_{В}$ – расход воздуха через калорифер, кг/с (для VAV-систем);
- 4) G_{W} – расход теплоносителя через калорифер, кг/с.

В зависимости от контура обвязки управляющими воздействиями на теплоотдачу калорифера могут быть:

- а) G_{W} – расход теплоносителя через калорифер, кг/с;
- б) $t_{ВН}$ – температура теплоносителя на входе в калорифер, °С.

Регулируемым параметром для приточных систем кондиционирования воздуха, как правило, является $t_{ВП}$ – температура приточного воздуха, °С.

Для математического описания как количественного, так и качественного управления калорифером, необходимо также ввести следующие дополнительные обозначения:

- 1) $G_{ВП}$ – расход приточного воздуха, непосредственно подающегося в помещение, кг/с;
- 2) $G_{ВБ}$ – расход воздуха через байпасный канал по воздуху, кг/с (количественное регулирование);
- 3) G_{WB} – расход теплоносителя через байпасный канал по теплоносителю, кг/с (смесительный контур);
- 4) G_{W1} – расход теплоносителя в системе теплоснабжения, кг/с;
- 5) $t_{В}$ – температура воздуха после калорифера, °С;
- 6) t_{W1} – температура теплоносителя на выходе из системы теплоснабжения, °С;

7) t_{WK} – температура теплоносителя на выходе из калорифера, °С.

Стационарные процессы в калориферной установке могут быть описаны следующей системой уравнений:

Уравнение теплопередачи:

$$c_{В}G_{В}(t_{В} - t_{ВН}) = kF \left(\frac{t_{ВН} + t_{WK}}{2} - \frac{t_{ВН} + t_{В}}{2} \right),$$

где $c_{В}$ – удельная теплоемкость воздуха, Дж/кг · К; k – коэффициент теплоотдачи, Вт/м² · К; F – площадь поверхности нагрева калорифера, м².

Уравнение баланса тепла на переходе «теплоноситель – воздух»:

$$c_{В}G_{В}(t_{В} - t_{ВН}) = c_{W}G_{W}(t_{ВН} - t_{WK}),$$

где c_{W} – удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/кг · К.

Уравнение баланса тепла при смешении потоков теплоносителя:

$$G_{W1}t_{W1} + G_{WB}t_{WK} = G_{W}t_{WK}.$$

Уравнение баланса тепла при смешении потоков воздуха:

$$G_{В}t_{В} + G_{ВБ}t_{ВН} = G_{ВП}t_{ВП}.$$

Уравнение смешения потоков теплоносителя:

$$G_{W} = G_{WB} + G_{W1}.$$

Уравнение смешения потоков воздуха:

$$G_{ВП} = G_{В} + G_{ВБ}.$$

Уравнение расхода тепла:

$$Q_{Т} = c_{W}G_{W}(t_{W1} - t_{WK}),$$

где $Q_{Т}$ – затрачиваемое количество тепла на обогрев, Вт.

Получение и решение уравнений динамики процесса теплопередачи в калорифере не может адекватно отражать все особенности протекания теплообменных процессов в конкретном калорифере по ряду причин: неоднородность распределения теплоносителя между рядами калорифера и трубками одного ряда; турбулентность движения теплоносителя в калорифере; турбулентность движения воздуха; конструктивных особенностей калорифера; гидравлических особенностей конкретного объекта и т. д.

Многочисленные экспериментальные и теоретические исследования показали, что приточную функцию калорифера по каналу «изменение расхода теплоносителя – изменение температуры воздуха после калорифера» можно

аппроксимировать в виде апериодического звена первого порядка [3]:

$$W(p) = \frac{K}{T_K p + 1},$$

где K – статический коэффициент передачи калорифера, °C/кг/с; T_K – постоянная времени калорифера, с.

Коэффициент передачи калорифера по каналу «расход теплоносителя – температура приточного воздуха» индивидуально рассчитывается для каждого калорифера и зависит от большого количества факторов, учитывающих площадь калорифера, вид теплоносителя, скорость движения воздуха и теплоносителя, геометрические размеры и конструктивные особенности калорифера. График изменения коэффициента передачи калорифера КСк 3-11 системы кондиционирования воздуха по каналу «расход теплоносителя – температура приточного воздуха» представлен на рис. 2.

Постоянная времени калорифера рассчитывается по следующей зависимости [4]:

$$T_K = \frac{c_M m_M + c_W m_W}{c_W G_W + \left(\frac{2}{kF} + \frac{1}{c_W G_W} \right)^{-1}},$$

где c_M, c_W – удельная теплоемкость металла и воды, Дж/кг·К; m_M, m_W – масса металла теплообменника и воды в калорифере, кг; k – коэффициент теплопередачи аппарата, Вт/м²·°C; F – поверхность аппарата, м².

Зависимость постоянной времени T_K от расхода теплоносителя при уличной температуре –15°С представлена на рис. 3. Можно заметить, что в рабочем диапазоне расходов

теплоносителя (без угрозы замораживания калорифера) постоянная времени может меняться в разы: от 114 с при расходе теплоносителя 0,2 кг/с и до 12 с при расходе 2,6 кг/с, что соответствует полностью открытому клапану и режиму максимальной теплопроизводительности калорифера. Диапазон изменения коэффициента передачи меняется от 1,6 до 21°С/кг/с в зависимости от расхода теплоносителя. Необходимо отметить, что в межсезонье при минимальных протоках теплоносителя через трубки калорифера и минимальной его теплопроизводительности инерционность калорифера может достигать инерционности обслуживаемого помещения. По внешним видам зависимостей T_K и K от расхода теплоносителя можно сделать вывод, что зависимости носят явно нелинейный характер. Пренебрежение вышеперечисленными особенностями калорифера при математическом моделировании приточных систем кондиционирования воздуха в помещениях могут внести существенные неточности, а для некоторых типов помещений с высокой точностью поддержания параметров микроклимата может привести к фатальным ошибкам. Неадекватность модели калорифера может вывести исследователя на ложно синтезированную систему управления с неоптимальными настройками регулятора.

Повлиять на зависимость постоянной времени калорифера от расхода теплоносителя позволяют схемы обвязки калорифера с постоянным расходом, так называемые смесительные контуры. Но такие схемы существенно дороже наиболее распространенных «дресселирующих контуров», так как требуют применения трехходового клапана и дополнительного насоса в обвязке калорифера.

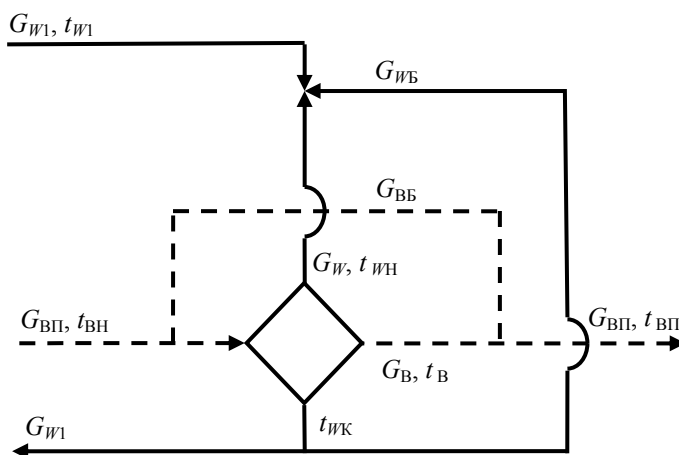


Рис. 1. Структурная схема системы кондиционирования воздуха с калорифером типа «теплоноситель – воздух»

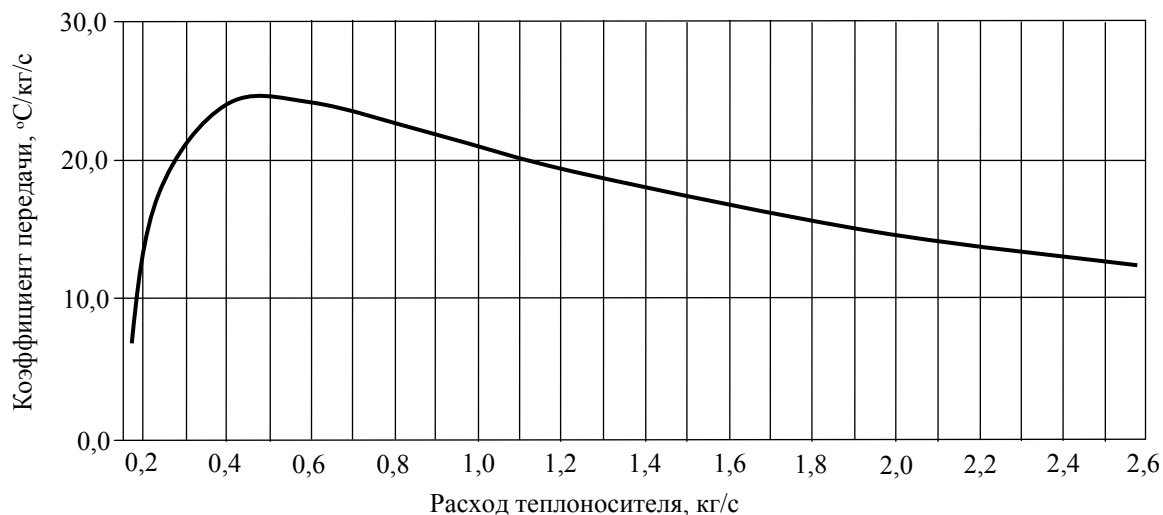


Рис. 2. Зависимость коэффициента передачи калорифера от расхода теплоносителя

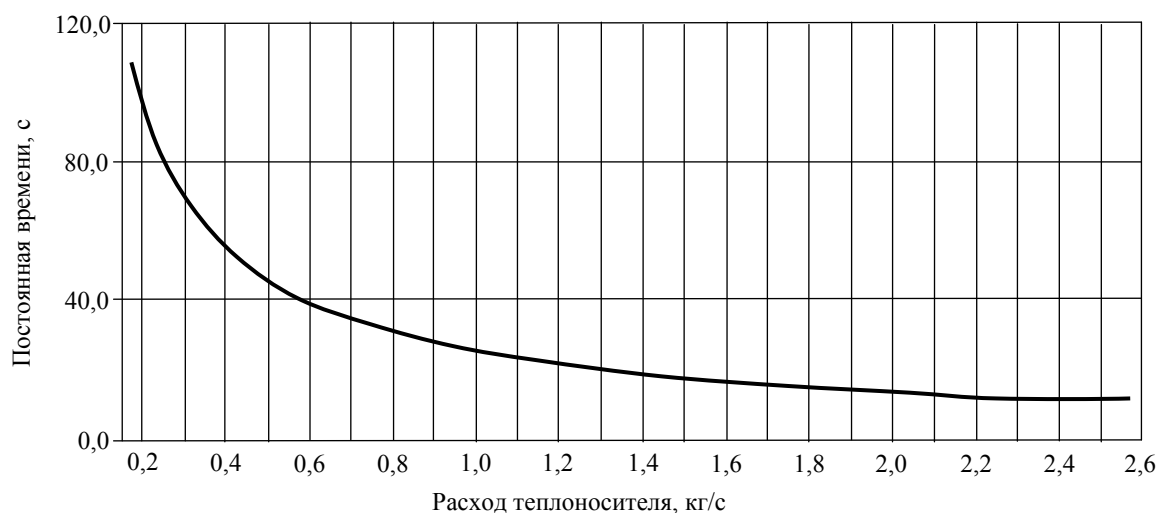


Рис. 3. Зависимость постоянной времени калорифера от расхода теплоносителя

Заключение. Таким образом, характеристики калориферной установки в системе кондиционирования воздуха будут меняться при различных расходах теплоносителя и температуре наружного воздуха. Невзирая на всеобщую распространенность калориферов в системах кондиционирования воздуха в помещениях и упрощенное математическое описание, для синтеза адекватной системы управления

необходимо учитывать явно нелинейные, динамически изменяющиеся во времени параметры калорифера. Данное обстоятельство должно носить обязательный характер в тех случаях, когда математическая модель не носит концептуальный теоретический характер, а требуется практическая апробация на объекте с широким диапазоном регулирования теплопроизводительности системы.

Литература

1. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Е. С. Бондарь [и др.]. Киев: Аванпост-Прим, 2005. 562 с.
2. Юрманов Б. Н. Автоматизация систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Л.: Стройиздат, 1976. 216 с.
3. Нефелов С. В. Техника автоматического регулирования в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1984. 328 с.
4. Сотников А. Г. Автоматизация систем кондиционирования воздуха и вентиляции. Л.: Машиностроение, 1984. 240 с.

References

1. Bondar' E. S., Gordienko A. S., Mikhaylov V. A., Nimich G. V. *Avtomatizatsiya sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha* [Automation of ventilation and air conditioning systems]. Kiev, Avantpost-Prim Publ., 2005. 562 p.
2. Yurmanov B. N. *Avtomatizatsiya sistem otopleniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha* [Automation of heating, ventilation and air conditioning]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1976. 216 p.
3. Nefelov S. V., Davydov Yu. S. *Tekhnika avtomaticheskogo regulirovaniya v sistemakh ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha* [Technique of automatic control in ventilation and air-conditioning systems]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1984. 328 p.
4. Sotnikov A. G. *Avtomatizatsiya sistem i konditsionirovaniya vozdukha i ventilyatsii* [Automation of air conditioning and ventilation systems]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1984. 240 p.

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

Карпович Дмитрий Семенович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов и электротехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: karpovich@tut.by

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

Karpovich Dmitriy Semenovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Automation of Production Processes and Electrical Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: karpovich@tut.by

Поступила 22.11.2017