

УДК 697.911.001.5

# Логическое проектирование алгоритма управления системой кондиционирования воздуха

Канд. техн. наук Ю.Н. ЗОЛОТАРЕВ

Воронежская государственная технологическая академия

*There has been described the analysis of the control algorithm of the standard air conditioning system. Its results are presented in the form of pluralities of logic functions of technological parameters changes and the corresponding pluralities of codes. The obtained pluralities supply logic projecting of perspective means of conditioning.*

Рассмотрим подход к моделированию системы кондиционирования воздуха (СКВ) [2, 3] применительно к проблеме оснащения ее технологических агрегатов средствами автоматики. Предварительно выделим следующие задачи управления:

первая – определение технологического режима обработки воздуха, обеспеченного необходимой последовательностью процессов в установленном множестве агрегатов СКВ;

вторая – стабилизация (регулирование) выходных переменных состояния на некотором уровне, который поддерживается путем использования предназначенных для заданного технологического режима каналов обратной связи по отклонению.

Далее полагаем, что выполнение функций низшего уровня управления (пуск, останов, аварийная защита и т.п.) не зависит от перечисленных выше задач. Объектом моделирования является измерительно-информационная система (ИИС) управления СКВ. В нее входят: объект управления – воздух в обслуживаемом помещении (ОП); блок переключения технологических режимов (ПТР); блок системы автоматического регулирования – несколько контуров с обратной связью по числу стабилизируемых переменных состояния воздуха в ОП. Требуется разработать алгоритм поведения системы управления на основе логической зависимости между сигналами о состоянии объекта управления и управляющими воздействиями.

Представим постановку задачи в форме спецификации.

С П Е Ц И Ф И К А Ц И Я

ВХОДЫ

Операнды условий контроля состояний воздуха в ОП:

$$\xi_{19} = \langle i_a < i_{E>} \rangle; \xi_{20} = \langle i_a > i_{E>} \rangle; \xi_{21} = \langle t_E < t_{E<} \rangle;$$

$$\begin{aligned} \xi_{22} &= \langle \varphi_E < \varphi_{E<} \rangle; \xi_{23} = \langle t_E \in [t_{E<}, t_{E>}] \rangle; \\ \xi_{24} &= \langle \varphi_E \in [\varphi_{E<}, \varphi_{E>}] \rangle; \xi_{25} = \langle t_E > t_{E>} \rangle; \\ \xi_{26} &= \langle \varphi_E > \varphi_{E>} \rangle; \xi_{27} = \langle t_E = t_{E<} \rangle; \xi_{28} = \langle \varphi_E = \varphi_{E<} \rangle; \\ \xi_{29} &= \langle \varphi_E = \varphi_{E>} \rangle; \xi_{30} = \langle t_E = t_{E>} \rangle, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $i_a, i_{E>}$  – энтальпия наружного воздуха и максимально допустимое значение энтальпии в ОП соответственно;

$t_E, t_{E<}, t_{E>}$  – текущая, минимально и максимально допустимая температура воздуха в ОП соответственно;

$\varphi_E, \varphi_{E<}, \varphi_{E>}$  – текущая, минимально и максимально допустимая влажность воздуха в ОП соответственно.

Обозначения, нумерация операндов в (1) и далее сопоставлены с [3].

Операнды условий сигнализации крайних положений регулирующих органов:

$$\begin{aligned} \xi_{31} &= \langle G_a = G_{a<} \rangle; \xi_{32} = \langle G_a > G_{a>} \rangle; \xi_{33} = \langle d_{12} = d_{23} \rangle; \\ \xi_{34} &= \langle W_1^{(q)} = 0 \rangle; \xi_{37} = \langle W_2^{(c)} = W_{2>}^{(c)} \rangle; \\ \xi_{39} &= \langle W_2^{(c)} = 0 \rangle, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $G_a, G_{a<}, G_{a>}$  – текущая, минимально и максимально допустимая производительность СКВ соответственно;

$d_{12}, d_{23}$  – влагосодержание воздуха на входе и выходе контактного аппарата соответственно;

$W_1^{(q)}$  – мощность тепловой энергии, сообщаемой воздуху в калорифере;

$W_2^{(c)}, W_{2>}^{(c)}$  – текущая и максимально допустимая мощность тепловой энергии, отбираемой от воздуха в контактном аппарате.

Операнды регулирования управляющих воздействий:

$$\xi_{35} = \langle G_a = \text{var} \rangle; \xi_{36} = \langle d_{12} - d_{23} = \text{var} \rangle;$$

$$\xi_{38} = \langle W_1^{(q)} = \text{var} \rangle; \quad \xi_{40} = \langle W_2^{(c)} = \text{var} \rangle. \quad (3)$$

Метки технологических режимов:

$$M_1, M_2, \dots \quad (4)$$

**ВЫХОДЫ**

Конечное число булевых функций, отражающих реакцию системы на входные сигналы:

$$\begin{aligned} P_{16} &= P_{16}(\xi_{19}, \xi_{20}, \dots, \xi_{40}) \\ P_{17} &= P_{17}(\xi_{19}, \xi_{20}, \dots, \xi_{40}) \\ \dots \dots \dots \end{aligned} \quad (5)$$

**ОГРАНИЧЕНИЯ**

Не допускается использование информации о параметрах наружного и приточного воздуха (кроме параметров указанных, как входы).

**ЦЕЛЬ**

Представить описание алгоритма работы автомата дешифрации входов и коммутации цепей агрегатов, выражающего суть моделируемой ИИС управления СКВ, в виде автограммы [1], имеющей вид конечного числа импликаций

$$\begin{aligned} M_k: U_m(\xi_{19}, \xi_{20}, \dots, \xi_{40}) &\rightarrow P_m - M_n, \\ U_{m+1}(\xi_{19}, \xi_{20}, \dots, \xi_{40}) &\rightarrow P_{m+1} - M_{n+1}, \\ \dots \dots \dots \end{aligned} \quad (6)$$

где  $U_m$  – булево выражение  $m$ -й комбинации входных сигналов при текущем технологическом режиме с меткой  $M_k$ ;

$P_m$  – булево выражение  $m$ -й реакции автомата на условие  $U_m$  перехода от режима с меткой  $M_k$  к режиму с меткой  $M_n$ .

Проанализировать автограмму и получить логические условия ПТР, инвариантные относительно структуры СКВ.

**КОНЕЦ СПЕЦИФИКАЦИИ**

Вспользуемся типовым решением задачи для центральной однозональной СКВ [4] с множеством агрегатов СКВ, в которое кроме вентилятора входит калорифер, контактный аппарат, а также смеситель наружного воздуха и воздуха из ОП (рециркуляция).

*Автограмма.*

$$\begin{aligned} M_1: P_{16} \xi_{33} &\rightarrow P_{17} - M_2, & M_2: P_{17} \xi_{34} &\rightarrow P_{19} - M_4, \\ P_{16} \xi_{34} &\rightarrow P_{18} - M_3, & P_{17} \xi_{21} \xi_{22} &\rightarrow P_{16} - M_1, \\ & & P_{17} \xi_{25} \xi_{26} &\rightarrow P_{25} - M_{10}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} M_3: P_{18} \xi_{31} &\rightarrow P_{16} - M_1, & M_9: P_{24} \xi_{37} &\rightarrow P_{25} - M_{10}, \\ P_{18} \xi_{32} &\rightarrow P_{21} - M_6, & P_{24} \xi_{20} \xi_{37} &\rightarrow P_{22} - M_7, \\ P_{18} \xi_{33} &\rightarrow P_{19} - M_4; & P_{24} \xi_{20} \xi_{37} &\rightarrow P_{23} - M_8; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} M_4: P_{19} \xi_{31} &\rightarrow P_{17} - M_2, & M_8: P_{23} \xi_{31} &\rightarrow P_{25} - M_{10}, \\ P_{19} \xi_{31} &\rightarrow P_{20} - M_5, & P_{23} \xi_{32} &\rightarrow P_{22} - M_7, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} P_{19} \xi_{21} \xi_{22} &\rightarrow P_{18} - M_3, & P_{23} \xi_{33} &\rightarrow P_{19} - M_4, \\ P_{19} \xi_{25} \xi_{26} &\rightarrow P_{23} - M_8; & P_{23} \xi_{20} &\rightarrow P_{24} - M_9; \end{aligned}$$

$$M_5: P_{20} \xi_{21} \xi_{22} \rightarrow P_{18} - M_3, \quad (10)$$

$$\begin{aligned} P_{20} (\xi_{21} \vee \xi_{23} \vee \xi_{25}) \xi_{26} &\rightarrow P_{21} - M_6, \\ P_{20} \xi_{21} \xi_{24} \vee \xi_{23} \xi_{26} \vee \xi_{25} \xi_{26} &\rightarrow P_{19} - M_4, \\ P_{20} \xi_{25} \xi_{26} &\rightarrow P_{23} - M_8; \end{aligned}$$

$$M_6: P_{21} \xi_{33} \rightarrow P_{20} - M_5, \quad M_7: P_{22} \xi_{39} \rightarrow P_{21} - M_6, \quad (11)$$

$$\begin{aligned} P_{21} \xi_{21} \xi_{32} &\rightarrow P_{18} - M_3, & P_{22} \xi_{37} (\xi_{20} \vee \xi_{33}) &\rightarrow P_{23} M_8, \\ P_{21} \xi_{25} \xi_{26} &\rightarrow P_{23} - M_8; & P_{22} \xi_{37} \xi_{20} &\rightarrow P_{24} - M_9; \end{aligned}$$

$$M_{10}: P_{25} \xi_{33} \rightarrow P_{17} - M_2, \quad (12)$$

$$\begin{aligned} P_{25} \xi_{20} \xi_{34} &\rightarrow P_{23} - M_8, \\ P_{25} \xi_{20} \xi_{34} &\rightarrow P_{24} - M_9, \end{aligned}$$

где  $P_{16} = (\xi_{27} \xi_{28}) \xi_{31} (\xi_{36} \xi_{38})$ ;  
 $P_{17} = (\xi_{24} \xi_{27} \vee \xi_{23} \xi_{29}) \xi_{31} \xi_{33} \xi_{38}$ ;  
 $P_{19} = (\xi_{24} \xi_{27} \vee \xi_{23} \xi_{29}) \xi_{33} \xi_{34} \xi_{35}$ ;  
 $P_{20} = (\xi_{23} \xi_{24}) \xi_{32} \xi_{33} \xi_{34}$ ;  
 $P_{18} = (\xi_{27} \xi_{28}) (\xi_{35} \xi_{36}) \xi_{34}$ ;  
 $P_{21} = (\xi_{23} \xi_{28} \vee \xi_{24} \xi_{30}) \xi_{32} \xi_{34} \xi_{36}$ ;  
 $P_{22} = (\xi_{29} \xi_{30}) \xi_{32} (\xi_{36} \xi_{40}) \xi_{34} \xi_{37}$ ;  
 $P_{23} = (\xi_{29} \xi_{30}) (\xi_{35} \xi_{36}) \xi_{34} \xi_{37}$ ;  
 $P_{24} = (\xi_{29} \xi_{30}) \xi_{31} (\xi_{36} \xi_{40}) \xi_{34} \xi_{37}$ ;  
 $P_{25} = (\xi_{29} \xi_{30}) \xi_{31} (\xi_{36} \xi_{38}) \xi_{37}$ .  
 (13)

$$P_{19} = (\xi_{24} \xi_{27} \vee \xi_{23} \xi_{29}) \xi_{33} \xi_{34} \xi_{35}; \quad (14)$$

$$P_{18} = (\xi_{27} \xi_{28}) (\xi_{35} \xi_{36}) \xi_{34}; \quad (15)$$

$$P_{23} = (\xi_{29} \xi_{30}) (\xi_{35} \xi_{36}) \xi_{34} \xi_{37}; \quad (16)$$

$$P_{24} = (\xi_{29} \xi_{30}) \xi_{31} (\xi_{36} \xi_{40}) \xi_{34} \xi_{37}; \quad (16)$$

$$P_{25} = (\xi_{29} \xi_{30}) \xi_{31} (\xi_{36} \xi_{38}) \xi_{37}. \quad (17)$$

Анализ представленной автограммы показывает, что ее 10 пунктов  $M_1, M_2, \dots, M_{10}$  отражают только 6 последовательностей процессов. Указанная избыточность должна быть устранена, для чего пункты автограммы  $M_3, M_6$  заменим на

$$\begin{aligned} M_{36}: P_{26} \xi_{31} &\rightarrow P_{16} - M_1, & (18) \\ P_{26} \xi_{33} &\rightarrow P_{27} - M_{45}, \\ P_{26} \xi_{25} \xi_{26} &\rightarrow P_{23} - M_8; \end{aligned}$$

вместо  $M_4, M_5$  введем

$$\begin{aligned} M_{45}: P_{27} \xi_{31} &\rightarrow P_{17} - M_2, & (19) \\ P_{27} \xi_{21} \xi_{22} &\rightarrow P_{26} - M_{36}, \\ P_{27} \xi_{25} \xi_{26} &\rightarrow P_{28} - M_{789}, \\ P_{27} (\xi_{21} \vee \xi_{23} \vee \xi_{25}) \xi_{22} &\rightarrow P_{26} - M_{36}; \end{aligned}$$

вместо  $M_7, M_8, M_9$  введем

$$\begin{aligned} M_{789}: P_{28} \xi_{39} &\rightarrow P_{26} - M_{36}, & (20) \\ P_{28} \xi_{31} &\rightarrow P_{25} - M_{10}, \\ P_{28} \xi_{33} &\rightarrow P_{27} - M_{45}, \\ P_{28} \xi_{37} &\rightarrow P_{25} - M_{10}, \end{aligned}$$

где  $P_{26} = (\xi_{21} \xi_{22} \vee \xi_{27} \xi_{28} \vee \xi_{23} \xi_{28} \xi_{32} \vee \xi_{24} \xi_{30} \xi_{32}) \xi_{34} \xi_{35} \xi_{36}$  является заменой  $P_{18}, P_{21}$  из (15);  
 $P_{27} = [\xi_{24} \xi_{27} \vee \xi_{23} \xi_{29} \vee \xi_{32} (\xi_{23} \xi_{24} \vee \xi_{21} \xi_{24} \vee \xi_{23} \xi_{26} \vee \xi_{25} \xi_{26})] \xi_{33} \xi_{34} \xi_{35}$  – замена  $P_{19}, P_{20}$  из (14);

Процессы обработки воздуха и обеспечение  
логического моделирования

Процесс (агрегат)	Прими- тив	Логические функции ПТР	
		"Включение"	"Отключение"
Нагрев (К)	01	$\bar{P}_{16}P_{26} \vee P_{17}\bar{P}_{27} \vee \bar{P}_{25}P_{28}$	$P_{16}\bar{P}_{26} \vee P_{17}\bar{P}_{27} \vee P_{25}\bar{P}_{28}$
Охлаждение (КА)		$P_{26}\bar{P}_{28}$	$\bar{P}_{26}P_{28}$
ИЭВ (КА)	10	$\bar{P}_{16}P_{17} \vee \bar{P}_{26}P_{27}$	$P_{16}\bar{P}_{17} \vee P_{26}\bar{P}_{27}$
ПТВ (КА)	11	$P_{17}\bar{P}_{25} \vee P_{27}\bar{P}_{28}$	$\bar{P}_{17}P_{25} \vee \bar{P}_{27}P_{28}$

**Примечание.** ИЭВ – изохлальный влагообмен; ПТВ – политропный тепло- и влагообмен; К – калорифер; КА – контактный аппарат.

$$P_{28} = \xi_{29}\xi_{30} (\xi_{33} \vee \xi_{35} \vee \xi_{31}\xi_{40})\xi_{34}\xi_{36}\xi_{37} - \text{замена } P_{22}, P_{23}, P_{24} \text{ из (16).}$$

В таблице приведены логические функции включения и выключения агрегатов, сопоставленные с процессами обработки воздуха и вариантами примитивов [3] шумового кода

$$\Delta \tilde{B}_{0j} = \text{mod}_2(\tilde{B}_0 + \tilde{B}_j), \quad (21)$$

где  $\tilde{B}_0$  – опознаваемый код, полученный по [2];

$\tilde{B}_j$  –  $j$ -й код из порождающей матрицы (в порождающей матрице [3]  $j = 1 \vee 2 \dots \vee 15$ );

$\text{mod}_2$  – имя функции суммирования по модулю 2.

Шумовой код (21) моделирует реакцию системы управления на возмущения в работе СКВ с  $j$ -й топологией, представленной в порождающей матрице [3] кодом. При этом примитивы, содержащиеся в таблице, инвариантны относительно структуры СКВ.

Полученные результаты относятся к этапу системного проектирования ИИС управления СКВ, суть которого выражается в разработке технического задания и технического предложения. Техническое предложение заключается в применении автограммы (7), (12), (18) – (20) и таблицы ПТР для разработки программного обеспечения микропроцессора ИИС.

### Список литературы

1. Глушков В.М. Логическое проектирование дискретных устройств / В.М. Глушков, Ю.В. Капитонова, А.Т. Мищенко – Киев: Наук. думка, 1987.
2. Золотарев Ю.Н. Динамическое программирование и логическое проектирование систем кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2003. № 1.
3. Золотарев Ю.Н. Логический анализ систем кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2002. № 4.
4. Нефелов С.В. Техника автоматического регулирования в системах вентиляции и кондиционирования воздуха / С.В. Нефелов, Ю.С. Давыдов – М.: Стройиздат, 1984.