

Распознавание образов для структурного синтеза систем кондиционирования воздуха

*Д-р техн. наук Ю.Н. ЗОЛОТАРЕВ
Воронежская государственная технологическая академия*

To be considered the application methods of artificial intelligence for computer-aided manufacturing an air conditioning system. There is a description of basic elements pattern recognition system. Those securities contain a programmed grammars and pushdown automaton.

Эффективность начальных этапов проектирования системы кондиционирования воздуха (СКВ), и прежде всего структурного синтеза, можно повысить, во-первых, уменьшив долю эвристических соображений путем автоматизации генерирования множества структурных вариантов и, во-вторых, повысив объем полезной информации, извлекаемый из этого множества. В связи с этим для описания поведения создаваемой СКВ до того, как будут конкретизированы особенности ее структуры, предлагается система распознавания образов. Ее следует рассматривать как инструмент структурного синтеза. В системе выделены три составные части – подсистема извлечения признаков, подсистема синтаксического анализа кодов и подсистема принятия решения.

Одной из материальных форм воплощения образа проектируемой СКВ для многих разработчиков является некоторая кривая на диаграмме $i - d$ (энталпия – влагосодержание воздуха). По определенным правилам [1] ей может быть сопоставлен двоичный код, который также будет материальным воплощением образа разрабатываемой СКВ. В системе распознавания решение задачи кодирования полезной информации по перспективам синтеза возложено на подсистему извлечения признаков.

В математическое обеспечение подсистемы извлечения признаков входят модели динамического программирования [2], использующие общепринятую гипотезу об эффективности односторонней обработки воздуха. Они позволяют получать оптимальные последовательности состояний кондиционируемого воздуха и представляющие их коды:

$$\tilde{B}_j = \beta_{j,1} \beta_{j,2} \dots \beta_{j,2n-1} \beta_{j,2n} \dots \quad j = \overline{1, J}, \quad (1)$$

$$\beta_{j,2n-1}\beta_{j,2n} = \begin{cases} 01 & \text{при } d_n = \text{idem}, \quad i_n = \text{var}; \\ 10 & \text{при } d_n = \text{var}, \quad i_n = \text{idem}; \\ 11 & \text{при } d_n = \text{var}, \quad i_n = \text{var}. \end{cases} \quad (2)$$

n -й примитив j -го образа (n -й участок j -й i - d -кривой) из множества мощностью J

Понятно, что формирование образа объекта проектирования связано как с получением его синтаксической

(знаковой или языковой) формы (1), так и с объяснением ее семантики (смысла). Предлагается искать семантику кода (1), полученного подсистемой извлечения признаков, не ограничиваясь сутью модели ее обеспечения (в нашем случае по [2]).

Считаем, что множество изображений (2) объединены в (1) по некоторому общему свойству — отношению эквивалентности — и выражают собой класс эквивалентности. Определение конфигурации, т.е. этого класса эквивалентности, который ассоциирован с конкретным видом отношений, выполняется другим элементом системы распознавания — подсистемой синтаксического анализа (или грамматического разбора) кодов.

В обеспечение подсистемы синтаксического анализа

Таблица 1

Образы типовых СКВ и их примитивы

Образ		Изображение				
Область применения	Синтаксис	I		D	U	R
		ИВТ первый	ИВТ второй	ИЭВ	ПТВ	Реширкуляция
P_7 P_8 $P_{19} \vee P_{20}$	\widetilde{B}_7 \widetilde{B}_8 $\widetilde{B}_9(3)$	(01) ₁		(10) ₁		(11) ₁
P_1 P_{11} P_{15} P_6 P_{10} P_{14} P_9 P_{13} $P_{18} \vee P_{21}$ $P_{22} \vee P_{23} \vee P_{21}$ P_{17}	\widetilde{B}_1 \widetilde{B}_2 \widetilde{B}_5 \widetilde{B}_6 \widetilde{B}_{10} \widetilde{B}_4 \widetilde{B}_9 $\widetilde{B}_0(2)$ $\widetilde{B}_0(4)$ $\widetilde{B}_0(6)$	(01) ₁ (01) ₁ (01) ₂ (01) ₁ (10) ₁ (01) ₂ (10) ₂ (10) ₂ (11) ₁ (11) ₂ (11) ₁ (11) ₁ (11) ₁ (11) ₁ (11) ₁		(10) ₂ (10) ₂ (10) ₁ (10) ₁ (11) ₁ (11) ₂ (11) ₂ (11) ₁ (11) ₁ (11) ₁ (11) ₁ (11) ₁ (11) ₁		
P_2 P_3 P_{12} P_5 P_{16} P_{25}	\widetilde{B}_2 \widetilde{B}_3 \widetilde{B}_2 \widetilde{B}_3 $\widetilde{B}_0(1)$ $B_0(2)$	(01) ₂ (01) ₁ (01) ₁ (01) ₃ (01) ₂ (01) ₂		(10) ₃ (10) ₃ (10) ₂ (11) ₂ (10) ₃ (11) ₃		(11) ₁ (11) ₂ (11) ₃ (11) ₁ (11) ₁ (11) ₁
P_4	\widetilde{B}_4	(01) ₂	(01) ₄	(10) ₃		(11) ₁

кодов входит восстановленная грамматика Γ_p . Она порождает язык $L(\Gamma_p)$, описывает конечное множество кодов (предложений) из него и позволяет проверить другие коды на их принадлежность к классу той же природы.

Рассмотрим задачу восстановления грамматики двоичных кодов (1), собранных в таблице 1 и представляющих в [1] типовые технологические схемы кондиционирования [4]. По сравнению с [1] множество кодов в табл. 1 расширено до мощности $J = 21$ за счет добавления образов СКВ с управлением [3] – $\tilde{B}_0(1)$, $\tilde{B}_0(2)$, ..., $\tilde{B}_0(6)$. Подзаголовки столбцов табл. 1 с заголовком «Изображение» идентифицируют (2) в (1) и объясняют семантику кодов. Нижние индексы у изображений в табл. 1 и далее отражают порядок следования моделируемых ими функциональных действий на воздухе от начала его обработки в СКВ (т.е. от состояния наружного воздуха). Приняты следующие сокращения: ИВТ – изовлажностный теплообмен; ИЭВ – изоэнталпийный влагообмен; ПТВ – политропный тепло- и влагообмен.

Область применения кодов в табл. 1 объясняют логические условия, имеющие вид конъюнкций и образующие следующие группы.

Логические условия расчетных режимов функционирования СКВ:

$$\begin{aligned} P_1 &= \xi_{11}\xi_{12}\xi_{13}\xi_{14}; P_2 = \xi_{15}\xi_{16}\xi_{17}\xi_{18}; P_3 = \xi_{19}\xi_{20}\xi_{21}\xi_{22}; P_4 = \xi_{23}\xi_{24}\xi_{25}; P_5 = \xi_{26}\xi_{27}; \\ P_6 &= \xi_{28}\xi_{29}\xi_{30}\xi_{31}; P_7 = \xi_{32}\xi_{33}\xi_{34}; P_8 = \xi_{35}\xi_{36}\xi_{37}; P_9 = \xi_{38}\xi_{39}; P_{10} = \xi_{40}\xi_{41}; \\ P_{11} &= \xi_{42}\xi_{43}; P_{12} = \xi_{44}\xi_{45}\xi_{46}; P_{13} = \xi_{47}\xi_{48}\xi_{49}; P_{14} = \xi_{50}\xi_{51}\xi_{52}; P_{15} = \xi_{53}\xi_{54}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\xi_1 = \langle (i, d) \in \Pi_2 \vee \Pi_3 \vee \Pi_4 \rangle$;

$$\xi_2 = \langle (i, d) \in \Pi_5 \vee \Pi_6(1) \rangle;$$

$$\xi_3 = \langle (i, d) \in \Pi_7 \vee \Pi_8(1), t_a^{(L)} > 0 \rangle;$$

$$\xi_4 = \langle (i, d) \in \Pi_1(1) \rangle;$$

$$\xi_5 = \langle (i, d) \in \Pi_1(2) \rangle;$$

$$\xi_6 = \langle (i, d) \in \Pi_1(3) \rangle;$$

$$\xi_7 = \langle t_a \leq t_1 \rangle;$$

$$\xi_8 = \langle (i, d) \in \Pi_9(1) \rangle;$$

$$\xi_9 = \langle (i, d) \in \Pi_{10}(1) \vee \Pi_{12}(1) \rangle;$$

$$\xi_{10} = \langle (i, d) \in \Pi_{13} \cup \Pi_{14} \rangle;$$

$$\xi_{11} = \langle i_{23} < t_E - W_E^{(q)} / G_{a<} \rangle;$$

$$\xi_{12} = \langle t_C = \text{idem} \rangle;$$

$$\xi_{13} = \langle \Pi_6(2) \vee \Pi_6(3) \vee \Pi_8(2) \vee \Pi_8(3) \vee \Pi_9(3) \vee \Pi_{11} \rangle;$$

$$\xi_{14} = \langle i_1 > i_{as}(0) \rangle;$$

$$\xi_{15} = \langle W_E^{(q)} = \text{idem} \rangle;$$

$$\xi_{16} = \langle \tilde{B}_{13} = \tilde{B}_9 \rangle;$$

$t_a, t_a^{(L)}$ – температура наружного воздуха по сухому и мокрому термометру соответственно;

t_C – температура приточного воздуха;

i_1, i_1 – температура и энталпия воздуха после первого подогрева соответственно;

$i_{as}(t)$ – энталпия насыщенного воздуха при температуре t ;

$i_{E>}, W_E^{(q)}$ – наибольшая допустимая энталпия воздуха и мощность источников избыточного тепла в обслуживаемом помещении (ОП) соответственно;

i_2 – энталпия воздуха после охлаждения;

$G_{a<}$ – минимально допустимая производительность СКВ.

Логические условия системы автоматического регулирования кондиционирования воздуха:

$$\begin{aligned} P_{16} &= (\xi_{27}\xi_{28})\xi_{31}(\xi_{36}\xi_{38}); P_{17} = (\xi_{24}\xi_{27}\vee\xi_{23}\xi_{29})\xi_{31}\xi_{33}\xi_{38}; \\ P_{18} &= (\xi_{27}\xi_{28})(\xi_{35}\xi_{36})\xi_{34}; P_{19} = (\xi_{24}\xi_{27}\vee\xi_{23}\xi_{29})\xi_{33}\xi_{34}\xi_{35}; \\ P_{20} &= (\xi_{23}\xi_{24})\xi_{32}\xi_{33}\xi_{34}; P_{21} = (\xi_{23}\xi_{28}\vee\xi_{24}\xi_{30})\xi_{32}\xi_{34}\xi_{36}; \\ P_{22} &= (\xi_{29}\xi_{30})\xi_{32}(\xi_{36}\xi_{40})\xi_{34}; P_{23} = (\xi_{29}\xi_{30})(\xi_{35}\xi_{36})\xi_{34}\xi_{37}; \\ P_{24} &= (\xi_{29}\xi_{30})\xi_{31}(\xi_{36}\xi_{40})\xi_{34}; P_{25} = (\xi_{29}\xi_{30})\xi_{31}(\xi_{36}\xi_{38})\xi_{37}, \end{aligned} \quad (5)$$

где

операнды контроля состояния воздуха в ОП:

$$\begin{aligned} \xi_{19} &= \langle i_a < i_{E>} \rangle; \\ \xi_{20} &= \langle i_a < i_E \rangle; \\ \xi_{21} &= \langle t_E < t_{E>} \rangle; \\ \xi_{22} &= \langle \Phi_E < \Phi_{E<} \rangle; \\ \xi_{23} &= \langle t_E \in [t_{E<}..t_{E>}] \rangle; \\ \xi_{24} &= \langle \Phi_E \in [\Phi_{E<}..\Phi_{E>}] \rangle; \\ \xi_{25} &= \langle t_E > t_{E>} \rangle; \\ \xi_{26} &= \langle \Phi_E > \Phi_{E>} \rangle; \\ \xi_{27} &= \langle t_E = t_{E<} \rangle; \\ \xi_{28} &= \langle \Phi_E = \Phi_{E<} \rangle; \\ \xi_{29} &= \langle \Phi_E = \Phi_{E>} \rangle; \\ \xi_{30} &= \langle t_E = t_{E>} \rangle; \end{aligned} \quad (6)$$

операнды сигнализации крайних положений регулирующих органов:

$$\begin{aligned} \xi_{31} &= \langle G_a = G_{a<} \rangle; \\ \xi_{32} &= \langle G_a = G_{a>} \rangle; \\ \xi_{33} &= \langle d_{12} = d_{23} \rangle; \\ \xi_{34} &= \langle W_1^{(q)} = 0 \rangle; \\ \xi_{37} &= \langle W_2^{(c)} = W_2^{>(c)} \rangle; \\ \xi_{39} &= \langle W_2^{(c)} = 0 \rangle; \end{aligned} \quad (7)$$

операнды регулирования управляющих воздействий:

$$\begin{aligned} \xi_{35} &= \langle G_a = \text{var} \rangle; \\ \xi_{36} &= \langle d_{12} - d_{23} = \text{var} \rangle; \\ \xi_{38} &= \langle W_1^{(q)} = \text{var} \rangle; \\ \xi_{40} &= \langle W_2^{(c)} = \text{var} \rangle - \end{aligned} \quad (8)$$

i_a – энталпия наружного воздуха;

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

$\Phi_E, \Phi_{E<}, \Phi_{E>}$ – текущая, минимально и максимально допустимая влажность воздуха в ОП соответственно;

$G_a, G_{a>}$ – текущая и максимально допустимая произ-

$\Pi_K(n)$ – множество состояний влажного воздуха, соответствующих выделенной на $i-d$ -диаграмме K -ой зоне и n -му классу тепловлажностных нагрузок [4];

$K = \overline{1,4}$ – для зон с неизбежным потреблением тепла;

$K = 5,8$ – для зон без потребления тепла и холода;

$K = \overline{9,12}$ – для зон с необходимым потреблением искусственного холода;

$K = 13; 14$ – для зон с обязательным потреблением и тепла и холода;

Таблица 2
Программные грамматики

Метка	Ядро a→b	Список переходов при успехе (u) в грамматике			
		Γ_0	Γ_1	Γ_D	Γ_R
$m1$	$S \rightarrow 0Y$	{ $m7, m8$ }	{ $m7, m8$ }		
$m2$	$S \rightarrow IX$	{ $m3, m4, m5, m6$ }		{ $m3, m4, m5$ }	{ $m4, m6$ }
$m3$	$S \rightarrow 0Z$	{ $m9, m0$ }	{ $m0$ }	{ $m0, m9$ }	{ $m9$ }
$m4$	$S \rightarrow IZ$	{ $m9, m0$ }	{ $m0$ }	{ $m9$ }	{ $m9, m0$ }
$m5$	$S \rightarrow 0$				
$m6$	$S \rightarrow I$				
$m7$	$Y \rightarrow I$				
$m8$	$Y \rightarrow IZ$	{ $m0$ }	{ $m0$ }		{ $m09$ }
$m9$	$Z \rightarrow 0Y$	{ $m7, m8$ }		{ $m7$ }	{ $m7, m8$ }
$m0$	$Z \rightarrow IX$	{ $m3, m4, m5, m6$ }	{ $m3, m4, m5, m6$ }	{ $m6$ }	{ $m3, m4, m5, m6$ }

водительность 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 кон-

тактном аппарате.

Решение задачи восстановления грамматики имеет следующий вид:

$$\Gamma_p = (V_N, V_T, Q, S, J), p = 0, I, D, R, \quad (9)$$

где $V_N = \{S, X, Y, Z\}$, $V_T = \{0, 1\}$ – множество вспомогательных и основных символов соответственно;

Q – множество правил вывода вида

$$mK: \alpha \rightarrow \beta - (u), (w); mK \in J; u, w \subseteq J; w = \{\}; \quad (10)$$

символ « \rightarrow » означает «может быть заменено на»;

$S \in V_N$ – начальный символ;

$J = \{m0, m1, \dots, m9\}$ – множество меток.

Вид программных грамматик (9) конкретизирован в табл. 2.

Программные грамматики (9) порождают языки, допускаемые распознавающими магазинными автоматами:

$$M_p = (V_N, V_T, H_p, F_p, S, P_p, Z), p = I, D, R, \quad (11)$$

где H_p – стековый алфавит;

F_p – магазинная функция;

P_p – символ, инициализирующий стек;

$S, Z \in V_N$ – начальное и финальное состояние соответственно.

Подсистема синтаксического анализа кодов, обеспеченная табл. 2, определяет, принадлежит ли код (1) к классам, описываемым по (9), (10). Кроме того, она оценивает генерированный код (1) или его части по степени важности для структурного синтеза.

Интерпретация результатов синтаксического анализа возложена на подсистему принятия решения.

Принадлежность интерпретируемого кода к классу

Таблица 3
Метки программных грамматик (9) и магазинные функции

Метка по (10)	Магазинные функции в автомате		
	M_I	M_D	M_R
$m1$	$F_I(S, 0, P_7) = \{(Y, I)\}$		
$m2$		$F_D(S, 1, P_8) = \{(X, D), (X, U)\}$	$F_R(S, 1, P_{22}) = \{(X, R)\}$
$m3$			
$m5$	$F_I(X, 0, D) = \{(Z, P_{35}), (Z, P_3)\}$	$F_D(X, 0, D) = \{(Z, P_{32})\}$	$F_R(X, 0, D) = \{(Z, P_{36}), (Z, P_{30})\}$
$m4$			
$m6$	$F_I(X, 1, R) = \{(Z, P_6), (Z, P_{12})\}$	$F_D(X, I, U) = \{(Z, P_{32})\}$	$F_R(X, 1, R) = \{(Z, P_{33})\};$ $F_R(X, 1, U) = \{(Z, P_{34}), (Z, P_{25})\}$
$m7$			
$m8$	$F_I(Y, 1, I) = \{(Z, P_{31})\}$	$F_D(Y, 1, I) = \{(Z, P_{14}), (Z, P_{15})\}$	$F_R(Y, 1, I) = \{(Z, P_{17}), (Z, P_4), (Z, P_3)\}$
$m9$		$F_D(Z, 0, P_{32}) = \{(Y, I)\}$	$F_R(Z, 0, P_{37}) = \{(Y, I)\}$
$m0$	$F_I(Z, 1, P_{31}) = \{(X, D), (X, R)\}$	$F_D(Z, 1, P_{32}) = \{(X, R)\}$	$F_R(Z, 1, P_{33}) = \{(X, U), (X, D)\}$

$p=0$ (грамматика Γ_0) выражает синтаксическую правильность описания перспективной СКВ в форме (1). Отнесение его к одному из классов $p = I, D$ или R (грамматики Γ_I , Γ_D или Γ_R соответственно) позволяет определить семантику его примитивов (2) и область применения.

Наделение кодов семантической информацией о процессах и алгоритме функционирования разрабатываемой СКВ возложено на магазинные автоматы (11) со следующими характеристиками стека:

$$\begin{aligned} H_I &= (I, D, R, P_3, P_6, P_7, P_{12}, P_{31}, P_{35}), P_I = P_7; \\ H_D &= (I, D, R, U, P_8, P_{10}, P_{14}, P_{15}, P_{32}), P_D = P_8; \\ H_R &= (I, D, R, U, P_4, P_5, P_{17}, P_{25}, P_{26}, P_{27}, P_{30}, P_{33}, \\ &P_{34}, P_{37}), P_R = P_{27}, \end{aligned} \quad (12)$$

где

$$\begin{aligned} P_{26} &= P_{18} \vee P_{21}, P_{27} = P_{19} \vee P_{20}, P_{28} = P_{22} \vee P_{23} \vee P_{24}, \\ P_{30} &= P_2 \vee P_{16}; \\ P_{31} &= P_6 \vee P_{35}, P_{32} = P_{10} \vee P_{15}, P_{33} = P_{17} \vee P_{26} \vee P_{34}; \\ P_{34} &= P_9 \vee P_{13} \vee P_{28}, P_{35} = P_1 \vee P_{11}, P_{37} = P_{30} \vee P_{33}. \end{aligned} \quad (13)$$

Стековые алфавиты (12) придают смысл изображениям и характеризуют области применения образов в соответствии с табл. 1. Магазинные функции автоматов (11) представлены в табл. 3.

Рассмотрим применение системы распознавания на примере.

Пример. Подсистема извлечения признаков позволила определить наиболее вероятную последовательность изменения состояния наружного воздуха в течение года. Получен образ

$$01100011001 = (01)_1(10)_2(01)_3(10)_4(01)_5. \quad (14)$$

Его примитивы отображают следующие состояния:

$$\begin{aligned} C_1 &= \{(i, d) | -19 < i < 10 \text{ кДж/кг}; d = 0,4 \text{ г/кг}\}; \\ C_2 &= \{(i, d) | i = 10 \text{ кДж/кг}; 0,4 < d < 2 \text{ г/кг}\}; \\ C_3 &= \{(i, d) | 10 < i < 40 \text{ кДж/кг}; d = 2 \text{ г/кг}\}; \\ C_4 &= \{(i, d) | i = 40 \text{ кДж/кг}; 2 < d < 9,6 \text{ г/кг}\}; \\ C_5 &= \{(i, d) | 40 < i < 52,5 \text{ кДж/кг}; d = 9,6 \text{ г/кг}\}. \end{aligned} \quad (15)$$

Информация, сопутствующая (14), (15), представлена в табл. 4.

Таблица 4

Распознавание образа (14)

Примитив в (14)	Состояние воздуха		Оценка и вывод в грамматике, %		
	Множества (15)	Вероятность, %	Γ_0	Γ_1	Γ_D
(01) ₁	C_1	6,6	51,73 по (16)	17,42 по (17)	—
(10) ₂	C_2	10,82		34,76 по (18)	
(01) ₃	C_3	23,94		34,06 по (17)	
(10) ₄	C_4	10,12		10,37 по (18)	
(01) ₅	C_5	0,25		—	

Подсистема синтаксического анализа выводит код (14) в грамматике Γ_0 по следующей схеме:

$$\begin{aligned} S &\xrightarrow{m1} 0Y \xrightarrow{m8} 01Z \xrightarrow{m0} 011X \xrightarrow{m3} 0110Z \xrightarrow{m9} 01100Y \\ &\xrightarrow{m8} 011001Z \xrightarrow{m0} 0110011X \xrightarrow{m3} 01100110Z \xrightarrow{m9} 011001100Y \\ &\xrightarrow{m7} 011001100Y \xrightarrow{m7} 0110011001. \end{aligned} \quad (16)$$

Существование вывода (16) доказывает синтаксическую правильность описания перспективной СКВ в форме (14). В грамматиках Γ_I , Γ_D и Γ_R удается вывести части кода (14), содержащие более одного примитива (2). Описания $(01)_1(10)_2$ и $(01)_3(10)_4$ в грамматике Γ_I имеют вывод

$$S \xrightarrow{m1} 0Y \xrightarrow{m8} 01Z \xrightarrow{m0} 011X \xrightarrow{m5} 0110, \quad (17)$$

а $(10)_2(01)_3$ и $(10)_4(01)_5$ выводятся в грамматике Γ_D по схеме

$$S \xrightarrow{m2} 1X \xrightarrow{m3} 10Z \xrightarrow{m9} 100Y \xrightarrow{m7} 1001. \quad (18)$$

Важность для синтеза выводимых составляющих кода (14) оценена по вероятности появления изображаемых ими состояний в течение года. На основании оценок по табл. 4 следует признать наиболее предпочтительным изображение $(10)_2(01)_3$, выводимое в Γ_D . С учетом (18) и магазинных функций автомата M_D (см. табл. 3) ему придается следующий смысл. Множества состояний наружного воздуха C_2 и C_3 удовлетворяют расчетным режимам функционирования СКВ с логическими условиями P_8 и P_{14} соответственно. Изменение состояний воздуха в области C_2 достигается при изоэнталпийном влагообмене, а в C_3 – при изовлажностном теплообмене.

Приложение методов искусственного интеллекта в рассмотренной форме обеспечивает автоматизацию системного уровня проектирования СКВ. Раскрывающиеся при этом возможности существенно шире тех, которые дает интуитивный поиск, а оценки синтезированных решений более обоснованы.

Список литературы

1. Золотарев Ю.Н. Логический анализ систем кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2002. Вып. 4.
2. Золотарев Ю.Н. Динамическое программирование и логическое проектирование систем кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2003. Вып. 1.
3. Золотарев Ю.Н. Логическое проектирование алгоритма управления системой кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2004. Вып. 1.
4. Рымкевич А.А., Халамейзер М.Б. Управление системами кондиционирования воздуха. – М.: Машиностроение, 1977.