

УДК 697.911.001.5

Технико-экономическое моделирование системы кондиционирования воздуха с оптимальной производительностью

Д-р техн. наук Ю.Н. ЗОЛОТАРЕВ

Воронежская государственная технологическая академия

The method of projected air conditional system productivity determination is offered using the certain rated variety of produced air conditions. The examples of using this method in the system of model operating are also considered.

Эффективное проектирование современных систем кондиционирования воздуха (СКВ) невозможно без применения специализированной информационной технологии. Ее системная модель [4] отражает элементы процесса проектирования, их взаимосвязь и план применения. Множество составляющих проектирования содержит процедуры системного описания и синтеза СКВ в целом [1, 2 и 3], а также процедуры анализа параметров ее агрегатов. Кроме того, в упомянутое множество должны входить процедуры, коорди-

нирующие реализацию вычислительных экспериментов как по отдельным этапам, так и по всем составляющим системного моделирования. Рассмотрим одну из таких процедур. Она предназначена для обоснованного выбора производительности разрабатываемой СКВ на некотором расчетном множестве генерируемых в ней состояний воздуха.

Пусть разрабатываемая (или перспективная) СКВ содержит K агрегатов. Отдельный ее агрегат преобразует некоторый параметр состояния воздуха θ (в част-

Таблица 1
Характерные параметры агрегатов базовой СКВ

Параметр	Агрегат воздухоподготовки		
	Нагреватель (k=q)	Нагнетатель (k=b)	Охладитель (k=c)
G_k^* , кг/с	0,217	0,352	0,382
U_k^* , у.е.	500	1500	4000
r_k^*/G_k^*	-0,205	-0,704	-2,758
c_k	0,069	0,147	0,177

ности, энталпию i или влагосодержание d). Множество значений параметра θ синтезировано в результате применения процедур системного моделирования [1]. Капитальные затраты на перспективную СКВ составляют

$$S_0 = \sum_{k=1}^K U_k, \quad (1)$$

где U_k – составляющая капитальных затрат на преобразование воздуха в k -м агрегате перспективной СКВ, у.е.

Изменение капитальных затрат (1) относительно некоторого базового значения S_0^* примем в качестве оценки результатов системного моделирования, которая имеет следующий вид:

$$\delta S_0 = \frac{S_0 - S_0^*}{S_0^*} = \sum_{k=1}^K c_k x_k, \quad (2)$$

Таблица 2
Характерные параметры перспективной СКВ (1-й вариант)

Параметр	Процесс функционирования (агрегат воздухоподготовки)		
	Нагрев (k=q)	Изоэнталпийное увлажнение (k=b)	Охлаждение (k=c)
i , кДж/кг	-19,0 < i < 10	10	10 < i < 40
d , г/кг	0,4	0,4 < d < 2	2
Δi_k , кДж/кг	29	0	-30
Δd_k , г/кг	0	1,6	0
a_{ik} , кДж/кг	17,487	0	-31,83
a_{dk} , г/кг	0	1,453	0
b_i , кДж/кг		13,343	
b_d , г/кг		0,147	

где $x_k = G_k/G_k^* - 1$ – относительное изменение производительности G_k k -го агрегата перспективной СКВ по сравнению с его базовым значением G_k^* ; c_k – критерий подобия технико-экономических связей k -го агрегата в СКВ;

$$c_k = \frac{G_k^*}{G_k^* - r_k^*} \frac{U_k^*}{S_0^*}, \quad (3)$$

где U_k^* – капиталовложения в прототип k -го агрегата, у.е.;

r_k^* – коэффициент нормальной линейной регрессионной зависимости $G_k^*(U_k^*)$ [3], кг/с.

Оптимальную производительность перспективной СКВ характеризует множество

$$\{G_1, G_2, \dots, G_K\}. \quad (4)$$

Ему сопоставлено множество значений (3), определяемое по результатам идентификации базового варианта перспективной СКВ [3], а также множество изменений параметров кондиционируемого воздуха

$$\{\Delta \theta_1, \Delta \theta_2, \dots, \Delta \theta_K | \theta = i, d\}. \quad (5)$$

Для определения (4) в рамках предлагаемой процедуры необходимо решить относительно вектора $\bar{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_K\}$ следующую задачу квадратичного программирования:

$$(\delta S_0^*)^2 = \min \left\{ \left(\sum_{k=1}^K c_k x_k \right)^2 \mid x_k \geq -1, k = 1, K \right\}$$

Таблица 3
Характерные параметры перспективной СКВ (2-й вариант)

Параметр	Процесс функционирования СКВ (агрегат воздухоподготовки)		
	Нагрев (k=q)	Рециркуляция (k=b)	Охлаждение (k=c)
i , кДж/кг	-19 < i < -4	-4 < i < 24,4	10 < i < 40
d , г/кг	0,4	0,4 < d < 4	2
Δi_k , кДж/кг	15	28,4	-30
Δd_k , г/кг	0	3,6	0
a_{ik} , кДж/кг	9,045	27,75	-31,83
a_{dk} , г/кг	0	3,521	0
b_i , кДж/кг		8,41	
b_d , г/кг		0,079	

$$\sum_{k=1}^K a_{\theta k} x_k = b_\theta, \quad \theta = i, d \quad (6)$$

где

$$a_{\theta k} = \Delta \theta_k \frac{G_k^*}{G_a^*}; \quad b_\theta = \sum_{k=1}^K (\Delta \theta_k - a_{\theta k}); \quad (7)$$

G_a^* – средняя производительность перспективной СКВ, определяемая в процедуре [3].

Оптимизация по (6) позволяет координировать результаты вычислительных экспериментов по всем предшествующим процедурам системного моделирования перспективной СКВ и определяет текущую оценку его эффективности в виде минимального значения $(\delta S_0^*)^2$ целевой функции $(\delta S_0)^2$. Норма вектора

$$\|\bar{X}\| = \sqrt{\sum_{k=1}^K x_k^2} \quad (8)$$

является мерой близости базовой и перспективной СКВ.

Для пояснения практических аспектов использования предлагаемой процедуры обратимся к примерам.

Пример 1. Характерные параметры базовой СКВ, полученные в результате ее идентификации [3], представлены в табл. 1.

Синтез оптимальной последовательности технологических режимов для перспективной СКВ [1] позволил определить коэффициенты и правые части (7) ограничений в задаче минимизации (6). Указанные характеристики приведены в табл. 2 для 1-го варианта перспективной СКВ со средней производительностью $G_a^* = 0,36$ кг/с.

Решение оптимизационной задачи (6) осуществлялось в электронной таблице Excel [5], где получено

$$\bar{X} = \{0,357; 0,101; -0,223\}; \quad (\delta S_0^*)^2 = 0. \quad (9)$$

С учетом (9) множеству процессов функционирования перспективной СКВ (см. табл. 2) сопоставлено множество (4) со следующими элементами:

$$G_q = 0,294 \text{ кг/с}; \quad G_b = 0,388 \text{ кг/с}; \quad G_c = 0,297 \text{ кг/с}. \quad (10)$$

Значения (10) определяют оптимальную [по (6)] производительность перспективной СКВ при нагреве, изоэнталпийном увлажнении и охлаждении воздуха соответственно.

Пример 2. 2-й вариант перспективной СКВ имеет ту же среднюю производительность, что и 1-й. Однаковыми для них также являются базовая СКВ, характеризующая ее табл. 1, а следовательно, и целевая функция (6). Особенности 2-го варианта перспективной СКВ, связанные с применением нагнетателя $k = b$ для обеспечения рециркуляции воздуха (а не изоэнталпийного увлажнения), отражает табл. 3.

В рассматриваемых условиях решение оптимизационной задачи (6) имеет следующий вид:

$$\bar{X} = \{0,335; 0,022; -0,149\}; \quad (\delta S_0^*)^2 = 0, \quad (11)$$

а множеству процессов функционирования 2-го варианта перспективной СКВ (см. табл. 3) сопоставлено множество (4) с элементами

$$G_q = 0,29 \text{ кг/с}; \quad G_b = 0,36 \text{ кг/с}; \quad G_c = 0,325 \text{ кг/с}. \quad (12)$$

Сравним полученные варианты производительности перспективной СКВ и выберем из них наиболее предпочтительный, используя норму (8).

Отметим, что в обоих случаях оптимум целевой функции $(\delta S_0^*)^2 = 0$ и достигается при нулевом значении (2). Следовательно, векторы $\bar{C} = \{c_q, c_b, c_c\}$ и $\bar{X} = \{x_q, x_b, x_c\}$ ортогональны. При этом

$$\|\bar{X}\| = \begin{cases} 0,433 & \text{для 1-го варианта;} \\ 0,368 & \text{для 2-го варианта.} \end{cases} \quad (13)$$

Оценивая по (13) риск принятия неправильного решения, остановим свой выбор на 2-м варианте перспективной СКВ, имеющем производительность (12) и более близком к базовому варианту с нулевой нормой (8).

Представленная процедура как составная часть информационной технологии получения новых знаний о системах кондиционирования воздуха является альтернативой феноменологическому определению производительности СКВ для различных расчетных режимов ее функционирования.

Список литературы

1. Золотарев Ю.Н. Динамическое программирование и логическое проектирование систем кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2003. Вып.1.
2. Золотарев Ю.Н. Логическое проектирование алгоритма управления системой кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2004. Вып.1.
3. Золотарев Ю.Н. Параметрическая идентификация базового варианта перспективной системы кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2004. Вып.4.
4. Золотарев Ю.Н. Системное моделирование при проектировании технологии кондиционирования воздуха // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Физика, математика. 2003. № 1.
5. Матвеев Л.А. Компьютерная поддержка решений: Учебник. – СПб.: Спец. литература, 1998.