

Техніка, 2001. – С. 178-182.

4.Федоров А.П. Рациональные режимы отпуска теплоты при разных схемах тепло-снабжения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / ХГТУСА. – Харьков, 2000. – 21 с.

*Получено 04.11.2005*

УДК 621.182 : 692.34 : 519.87

Н.А.ШУЛЬГА, А.А.БОБУХ, кандидаты техн. наук, Д.А.КОВАЛЕВ  
*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

### **РАЗРАБОТКА МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЛИНЕЙНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ – КОТЕЛЬНОЙ**

Рассматриваются вопросы разработки многопараметрической линейной математической модели источника тепловой энергии – котельной, с применением метода наименьших квадратов.

Система централизованного теплоснабжения (СЦТ) городов представляет собой иерархическую многосвязную структуру, в состав которой входят: источник теплоснабжения (ТЭЦ, котельная), тепловые сети, центральный и индивидуальный тепловые пункты, потребитель тепловой энергии.

Ввиду сложности СЦТ целесообразно декомпозировать с учетом указанной выше структуры.

Источник теплоснабжения – котельная, является звеном верхнего уровня иерархии. С точки зрения решаемых задач автоматизации котельная представляет собой многомерный, многопараметрический, инерционный объект управления с распределенными параметрами, относящийся к сложным системам, который на основании априорных данных в первом приближении можно описать линейной математической моделью определенного вида [1].

В настоящее время для расчетов оптимальных режимов работы котельных актуальным является использование математических моделей, при выборе которых учитываются такие факторы, как точность, простота и относительно невысокая стоимость описания реального объекта управления. Пригодность методов идентификации получения математических моделей определяется такими особенностями, как линейность и нелинейность характеристик, непрерывность объекта управления, степень выраженности динамических свойств, уровень случайных помех, возможность введения искусственных возмущений.

Причинами, обуславливающими сложность решения задачи идентификации, могут быть трудности проведения эксперименталь-

ных исследований в реальных условиях протекания процессов в объектах управления, сложность применения разработанных методов исследования, вычислительные трудности при обработке экспериментальных данных и др. По способам накопления экспериментальных данных методы идентификации делятся на активные и пассивные. Активный эксперимент основан на введении в объект управления искусственных возмущений различного вида, как детерминированных, так и случайных. Однако его применение осложнено тем, что на действующий объект управления (котельную), нельзя подавать преднамеренные возмущения из-за снижения экономичности показателей и нарушения нормальной работы объекта. Пассивный эксперимент предполагает регистрацию переменных в режиме нормальной работы объекта управления без введения преднамеренных возмущений. Такой вид эксперимента удлиняет время его проведения, однако он оправдан по разным причинам, особенно с точки зрения экономических показателей работы объекта.

При разработке математической модели её характеристики должны быть как можно более адекватны, с точки зрения заданного критерия, характеристикам объекта управления. В то же время выбор математической модели того или иного класса обуславливается не только априорными сведениями о структуре исследуемого объекта управления и режимах его функционирования, но и требуемой степенью точности соответствия математической модели реальному объекту управления и сложностью реализации полученного решения.

Необходимо заметить, что один и тот же объект управления можно адекватно описать математическими моделями различного вида. Но сложность и стоимость получения таких математических моделей предполагает выбор такого метода, который наиболее адекватно, просто и относительно недорого описывает реальный объект управления.

С учетом вышесказанного исследуемый объект управления – котельная, может быть описан линейной многопараметрической математической моделью, которую наиболее целесообразно получить методом наименьших квадратов (МНК) [2, 3], так как экспериментальные данные, полученные при обследовании этого объекта, имеют одинаковую точность. Экспериментальные данные, полученные при пассивном обследовании котельной ООО «Хартрон» за 293 наблюдения (каждый час)\* по следующим параметрам:

входные (управляющие) независимые переменные:

---

\* В получении экспериментальных данных принимали участие С.В.Литвиненко и Р.С.Окишев.

$x_1$  – расход теплоносителя в котел, м<sup>3</sup>/ч;

$x_2$  – расход газа в котел, м<sup>3</sup>/ч;

$x_3$  – давление теплоносителя перед котлом, кгс/см<sup>2</sup>;

$x_4$  – давление теплоносителя после котла, кгс/см<sup>2</sup>;

$x_5$  – температура теплоносителя перед котлом, °С;

$x_6$  – давление газа перед горелками, кгс/см<sup>2</sup>;

$x_7$  – давление воздуха перед котлом, мм. вод. ст.;  
управляемые (выходные) переменные;

$y_1$  – температура теплоносителя после котла, °С;

$y_2$  – температура отходящих дымовых газов, °С.

Известно [2, 3], что уравнение для прямой линии имеет вид:

$$y_j = \sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i + b, \quad (1)$$

где  $y_j$  – функция зависимого переменного ( $j=\overline{1,2}$ );  $x_i$  – функция независимого переменного, ( $i=\overline{1,7}$ );  $a_i$  – коэффициент, соответствующий каждой независимой переменной  $x_i$ ;  $b$  – постоянная;

Для определения одного зависимого значения  $y_j$  необходимо решить систему условных уравнений:

$$a_i (x_1, x_2, \dots, x_7) - (y_j - b) = 0, \quad (2)$$

где  $i=\overline{1,7}$ .

В первом приближении ошибки каждой из величин  $y_j$  ( $j=\overline{1,2}$ ) имеют нормальный закон распределения, поэтому сумма квадратов их текущих отклонений от простого среднего арифметического  $x_i$  ( $i=\overline{1,7}$ ) будет наименьшей.

Для линейных уравнений получаем:

$$y_j = a_{1,1}\bar{x}_1 + a_{1,2}\bar{x}_2 + \dots + a_{1,7}\bar{x}_7 + b_j. \quad (3)$$

Требование минимума суммы квадратов отклонений [2] приводит к системе нормальных линейных уравнений:

$$[a_1^2] \bar{x}_1 + [a_1, a_2] \bar{x}_2 + \dots + [a_1, a_7] \bar{x}_7 = [a_1, y - b], \quad (4)$$

где  $[a_1^2] = \sum_{i=1}^7 a_{1,i}^2$ ;  $[a_1, a_2] = \sum_{i=1}^7 a_{1,i} a_{2,i}$ ;  $[a_1(y-b)] = \sum_{i=1}^7 a_{1,i}(y_j - b_j)$ .

При использовании регрессионного анализа для каждой точки вычисляют квадрат разности между прогнозируемым значением  $y_{np}$  и фактическим значением  $y_{ф}$ . Сумма квадратов этих разностей называется остаточной суммой квадратов. Затем подсчитывают сумму квадратов разностей между фактическим значением  $y_{ф}$  и средним значением  $y_{cp}$ , которое называется общей суммой квадратов (регрессионная сумма квадратов + остаточная сумма квадратов). Чем меньше значение остаточной суммы квадратов, по сравнению с общей суммой квадратов, тем больше значение коэффициента детерминированности  $R^2$ , который показывает, насколько уравнение, полученное с помощью регрессионного анализа, объясняет взаимосвязь между переменными.

Результаты расчетов, которые обрабатывали по МНК на ПЭВМ Intel Pentium IV, приведены в таблице.

Некоторые из приведенных в таблице статистик:

$R^2$  – коэффициент детерминированности, в общем случае  $0 < R^2 < 1$ ;  $f$  – степени свободы, для значений  $y_1$  и  $y_2$ ,  $f=7$  ( семь независимых переменных);  $F$ – критерий Фишера,  $F_{кр}$  – критический критерий Фишера [3], для  $f = 7$ , при допустимой ошибке  $\alpha = 0,05$ ,  $F_{кр} = 2,93$ . Расчетные значения критерия Фишера для  $y_1 - F = 397,197$ , для  $y_2 - F = 293,341$ ;  $t$  статистика – критерий Стьюдента, из [3], для  $f=7$  и  $\alpha=0,05$ ,  $t=2,306$ , при вероятности  $P=0,95$ .

На основании вышеизложенного получают линейные многопараметрические регрессионные линейные математические модели для управляемых выходных переменных котла  $y_1$  и  $y_2$ :

$$y_1 = -0,238x_1 + 0,005x_2 + 10,806x_3 + 0,678x_4 + 0,730x_5 - 390,108x_6 + 1,350x_7 - 3,091, \quad (5)$$

$$y_2 = -0,255x_1 + 0,005x_2 + 17,973x_3 + 0,640x_4 + 0,693x_5 - 576,558x_6 + 2,022x_7 - 65,387. \quad (6)$$

Регрессионная статистика				
Наименование	Результаты для $y_1$		Результаты для $y_2$	
$R^2$	0,907		0,878	
Наблюдения	293		293	
Дисперсионный анализ				
Наименование	Результаты для $y_1$		Результаты для $y_2$	
	$f$	$F$	$f$	$F$
Регрессия	7	397,197	7	293,341
Результаты для $y_1$				
Наименование	$a_i$	$t$ статистика	Нижние 95%	Верхние 95%
Переменная $x_1$	-0,238	-7,525	-0,300	-0,176
Переменная $x_2$	0,005	7,691	0,004	0,007
Переменная $x_3$	10,806	5,624	7,024	14,587
Переменная $x_4$	0,678	0,453	-2,268	3,625
Переменная $x_5$	0,730	6,145	0,496	0,964
Переменная $x_6$	-390,108	-18,107	-432,514	-347,701
Переменная $x_7$	1,350	19,759	1,215	1,484
Результаты для $y_2$				
Переменная $x_1$	-0,255	-5,453	-0,346	-0,163
Переменная $x_2$	0,005	5,084	0,003	0,007
Переменная $x_3$	17,973	6,335	12,389	23,557
Переменная $x_4$	0,640	0,290	-3,711	4,992
Переменная $x_5$	0,693	3,946	0,347	1,038
Переменная $x_6$	-576,558	-18,122	-639,181	-513,935
Переменная $x_7$	2,022	20,048	1,824	2,221

Для котла расчетные значения критерия Фишера:  $y_1 - F=397,197$  и  $y_2 - F=293,341$ , значительно больше, чем критическое значение  $F_{кр}=2,93$ , следовательно, полученные многопараметрические линейные математические модели в первом приближении могут быть использованы для разработки систем автоматического управления (САУ), в том числе на базе микропроцессорных контроллеров.

1. Чистович С.А., Аверьянов В.А. и др. Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления. – Л.: Стройиздат, 1987. – 248 с.

2. Юр Г.О. Математична обробка табличних даних. – Краматорськ: КЕГІ, 2001. –

80 с.

3.Зеркальцев В.И. Метод наименьших квадратов, геометрические свойства, альтернативные подходы, приложения. – Новосибирск: Наука, 1995. – 220 с.

*Получено 11.11.2005*

УДК 621.564

**В.Г.ШЕРСТЮК**

*НПО «Холод», г.Харьков*

## **ПРОИЗВОДСТВО ХОЛОДА И ТЕПЛОТЫ В СХЕМАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ И ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК**

Анализируется целесообразность внедрения теплонасосных технологий для производства низкопотенциальной теплоты на оборудовании существующих холодильных станций. Приведена схема, которая может дать существенный энергетический эффект.

Возрастающий дефицит энергоресурсов, рост цен на твердое, жидкое и газообразное топливо диктуют необходимость внедрения энергосберегающих технологий, создания новой энергосберегающей техники и вовлечения в топливно-энергетический баланс вторичных энергоресурсов и нетрадиционных природных источников энергии на базе теплонасосных установок (ТНУ). Достаточно подробный обзор современного использования ТНУ представлен в [1].

Известно, что для реализации технологических процессов в химической, пищевой и деревообрабатывающей промышленности, в технологических процессах производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции требуются значительные количества низкопотенциальной тепловой энергии. В применяемых здесь системах тепло- и хладоснабжения используются, как правило, отдельные схемы получения теплоты и холода в автономных котельных, теплогенераторах, электронагревателях и холодильных машинах соответственно. При этом теплота конденсации рабочего тела холодильных машин нередко рассматривается как отходы, не подлежащие утилизации, а сжигание дефицитного органического топлива происходит в низкоэффективных котельных или индивидуальных топочных агрегатах и сопряжено с загрязнением окружающей среды.

Принимая во внимание, что большинство из указанных потребителей теплоты и холода во многих случаях сами являются источниками низкопотенциального вторичного тепла, а также то обстоятельство, что часто встречается необходимость одновременного производства и применения теплоты и холода, внедрение высокоэффективных и экологически чистых энергоисточников на базе теплонасосных установок