



## ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

### Использование факторного анализа для оптимизации режимов работы систем централизованного теплоснабжения

Горячих Н. В., канд. техн. наук

Министерство территориального развития Забайкальского края, Чита

Батухтин А. Г., канд. техн. наук

Забайкальский государственный университет, Чита

Известно, что системы централизованного теплоснабжения характеризуются множеством зависящих один от другого параметров. Но учет всех параметров не представляется возможным, и выделение главных из них позволит облегчить задачу оптимизации режимов работы систем централизованного теплоснабжения. Показано, что факторный анализ дает возможность сократить число параметров, влияющих на работу систем централизованного теплоснабжения, выделив наиболее главные.

**Ключевые слова:** факторный анализ, системы централизованного теплоснабжения, корреляция, факторная нагрузка, температура внутреннего воздуха, температура прямой сетевой воды.

Основное преимущество ТЭЦ перед конденсационными электростанциями заключается в наличии экономически более выгодной выработки электроэнергии на тепловом потреблении. Поэтому одним из возможных путей энергосбережения на ТЭЦ является мероприятие по оптимизации функционирования систем централизованного теплоснабжения. Представленные в литературе методики включают в себя как оптимизацию распределения нагрузок между теплоэнергетическим оборудованием, так и оптимизацию отпуска теплоты от ТЭС потребителю, что может быть отнесено к самым малозатратным энергосберегающим технологиям.

Необходимый отпуск теплоты потребителю обеспечивается при удовлетворительном состоянии самих потребителей. Система централизованного теплоснабжения имеет сложную структуру, и ее работа зависит от большого числа параметров. Учет их всех без исключения невозможен, но можно учесть самые оптимальные и необходимые параметры от которых зависит оптимальный отпуск теплоты. Методы факторного анализа позволяют это сделать. Факторный анализ является одним из разделов современной многомерной статистики и широко используется в различных областях исследовательской деятельности [1]. При исследовании систем централизованного теплоснабжения он дает воз-

можность понять суть всех факторов, влияющих на их эффективную работу. На основе факторного анализа возможно создание искусственных нейронных сетей, моделирующих работу систем централизованных систем теплоснабжения.

Рассмотрим пример использования факторного анализа для выявления главных факторов (причин), влияющих на эффективную работу систем централизованного теплоснабжения. При этом за основную измеряемую величину, характеризующую удовлетворительные условия, примем температуру внутреннего воздуха помещения.

Пусть при различных условиях исследуемые величины измерены  $N$  раз. В каждом измерении получены значения случайных многомерных нормально распределенных величин  $X_t = (X_{1t}, X_{2t}, \dots, X_{kt})$ , где  $t = 1, 2, \dots, N$ .

Все эти значения обусловлены какими-то объективными причинами, которые называются факторами. Предполагается, что число факторов всегда меньше числа измеряемых параметров (признаков) изучаемого объекта. Эти факторы являются скрытыми, их нельзя непосредственно измерить, поэтому они представляются гипотетическими. Однако есть методы их выявления, которые и составляют суть факторного анализа. Для этого необходимо решить ряд задач [2]:

Таблица 1

$t_{вн}, ^\circ\text{C}$	$t_{н}, ^\circ\text{C}$	$t_{п.с}, ^\circ\text{C}$	$t_{о.с}, ^\circ\text{C}$	$\beta$	$l, \text{м}$	$\lambda_0,$ кДж/( $\text{м}^3 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$ )	$s_{ст}, \text{м}$	$\rho_{ст},$ кг/ $\text{м}^3$	$\alpha_{н},$ кВт/( $\text{м}^2 \cdot \text{К}$ )	$\alpha_{вн},$ кВт/( $\text{м}^2 \cdot \text{К}$ )
20	0	65	54	1,15	1000	0,49	0,5	1800	23	8
20	0	67	53	1,1	570	0,53	0,5	2500	25	6
20	0	68	58	1,1	80	0,39	0,3	550	27	11
20	-5	70	58	1,1	100	0,66	0,4	1800	30	10
20	-5	75	65	1,2	260	0,47	0,5	2500	31	9
20	-5	80	65	1,2	370	0,82	0,5	300	32	7
20	-10	80	67	1,4	360	0,48	0,3	1800	21	6
20	-10	85	69	1	800	0,24	0,3	2500	20	9
20	-10	88	71	1,15	840	0,46	0,4	300	24	8
20	-15	89	72	1,2	750	0,23	0,25	1800	26	7
20	-15	90	75	1,2	450	0,89	0,3	2500	30	6
20	-15	90	74	1,3	120	0,9	0,5	300	34	6
20	-20	92	74	1,13	457	0,9	0,4	1800	39	9
20	-20	94	73	1,1	470	0,65	0,35	2500	23	8
20	-20	95	78	1,12	370	0,69	0,25	300	26	7
20	-25	93	68	1,13	1030	0,35	0,6	1800	27	8
20	-25	95	76	1,15	1130	0,27	0,7	2500	28	7
20	-25	98	74	1,15	890	0,48	0,5	300	30	6
20	-30	102	78	1,2	950	0,73	0,4	1800	31	8
20	-30	103	74	1,4	780	0,96	0,6	2500	34	7
20	-30	104	73	1,5	440	0,49	0,4	300	36	8
20	-35	103	77	1,6	1200	0,27	0,7	1800	38	7
20	-35	105	74	1,4	1350	0,98	0,65	2500	23	8
20	-35	112	75	1,5	1890	0,48	0,5	300	20	7
$X_j$	-21	107,15	83,75	1,474	832,85	0,6905	0,54	1852,5	33,9	9,15
$D$	172,2	583,252	296,9	0,1002	246891,2	0,081	0,03	1097220	72,732	4,772
$\sigma$	13,12	24,150	17,23	0,3166	496,88	0,284	0,17	1047,48	8,528	2,184

1) определить число действующих факторов и указать их относительную интенсивность;

2) выявить признаковую структуру факторов, т. е. показать, какими признаками эксперимента обусловлено действие того или иного фактора и в какой относительной мере;

3) выявить факторную структуру изучаемых признаков эксперимента, т. е. показать долю влияния каждого фактора на значение того иного признака объекта.

Для рассматриваемого примера параметры, влияющие на работу систем централизованного теплоснабжения, приведены в табл. 1, где приняты следующие обозначения:



Таблица 3

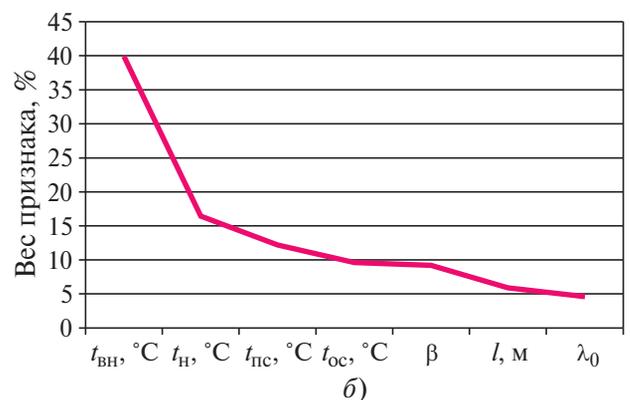
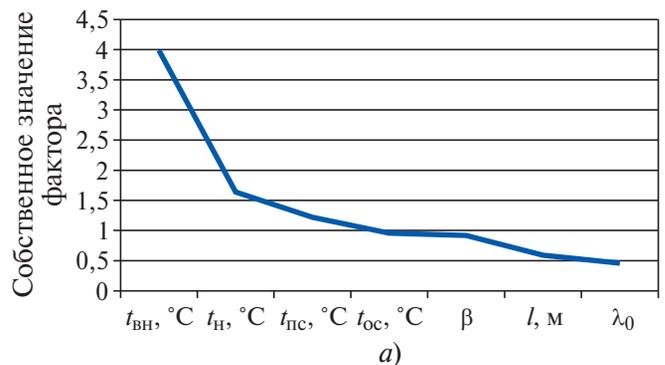
	$t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{п.с}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{о.с}}, ^\circ\text{C}$	$\beta$	$l, \text{м}$	$\lambda_0, \text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	$s_{\text{ст}}, \text{м}$	$\rho_{\text{ст}}, \text{кг}/\text{м}^3$	$\alpha_{\text{н}}, \text{кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	$\alpha_{\text{вн}}, \text{кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
$t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	0,95	0,06	0,04	0,08	0,47	0,07	0,06	0,20	1,27	1,09
$t_{\text{п.с}}, ^\circ\text{C}$	-0,94	0,07	-0,36	-0,22	-0,39	-0,07	0,07	-0,22	-0,49	1,58
$t_{\text{о.с}}, ^\circ\text{C}$	-0,82	0,35	-0,51	-0,49	-0,46	0,51	0,28	-0,39	1,24	-0,50
$\beta$	-0,72	0,08	0,13	0,66	0,45	-0,14	-1,59	-0,09	0,38	0,90
$l, \text{м}$	-0,65	-1,06	0,00	0,07	-0,03	-0,55	0,31	1,38	0,60	-0,11
$\lambda_0, \text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	-0,18	1,03	0,43	-0,90	0,38	-1,33	0,04	0,19	0,13	-0,08
$s_{\text{ст}}, \text{м}$	-0,51	-0,41	1,22	0,58	0,25	-0,21	0,82	-0,92	0,14	0,08
$\rho_{\text{ст}}, \text{кг}/\text{м}^3$	0,08	-0,54	1,15	-1,18	-0,29	0,63	-0,65	0,08	0,02	0,13
$\alpha_{\text{н}}, \text{кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	-0,28	1,11	0,73	0,63	-0,33	0,80	0,28	0,96	0,09	0,06
$\alpha_{\text{вн}}, \text{кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	0,45	0,00	0,24	0,57	-1,67	-0,75	-0,33	-0,14	0,26	0,02
Собственное значение $\lambda_i$	3,99	1,64	1,22	0,96	0,92	0,59	0,46	0,13	0,07	0,01
Вес фактора, %	39,94	16,42	12,21	9,61	9,21	5,91	4,60	1,30	0,70	0,10

Выполняя ортогональное преобразование корреляционной матрицы, находят факторные нагрузки  $a_{ij}$  (матрицу факторных нагрузок), собственные значения  $\lambda_i$  и определяют веса факторов. Вес фактора  $(\lambda_i / \sum \lambda_i) \cdot 100\%$  отражает долю в общей дисперсии, вносимую данным фактором.

Сумма квадратов нагрузок  $i$ -го признака равна дисперсии данного признака, т. е. единице, если исходные данные были нормированы:  $\sum_j a_{ij}^2 = 1$ . Это используется для расшифровки факторной структуры каждого признака, т. е. чтобы показывать долю вклада каждого фактора в формирование значений того или иного признака. Эту долю можно выражать в процентах —  $(a_{ij}^2 / \sum_j a_{ij}^2) \cdot 100\%$  [2].

Основной математический метод выделения факторов и их нагрузок основан на нахождении собственных чисел и собственных векторов корреляционной матрицы. Факторные нагрузки, собственные значения и веса признаков представлены в табл. 3.

Значения весов факторов позволяют считать, что наиболее значимыми признаками являются: температуры внутреннего  $t_{\text{вн}}$  и наружного  $t_{\text{н}}$  воздуха; температуры прямой  $t_{\text{п.с}}$  и обратной  $t_{\text{о.с}}$  сетевой воды; коэффициент местных потерь  $\beta$ ; длина сетевого трубопро-



вода  $l$ ; удельная отопительная характеристика зданий  $\lambda_0$ ; толщина стен  $s_{\text{ст}}$ .

Оптимизацию работы централизованного теплоснабжения можно проводить с помощью вышеуказанных критериев. Наиболее

важные параметры — температуры внутреннего и наружного воздуха. Температура прямой сетевой воды представляется более существенным фактором, учитываемым в работе систем централизованного теплоснабжения, чем температура обратной сетевой воды и длина участков тепловых сетей, которые играют примерно одинаковую оптимизационную роль (см. рисунок).

Таким образом, проведение факторного анализа позволяет сократить число анализируемых факторов, влияющих на режимы ра-

боты систем централизованного теплоснабжения, выделив из их множества те, которые имеют большую значимость.

#### Список литературы

1. Белонин М. Д., Голубева В. А., Скублов Г. Т. Факторный анализ в геологии. — М.: Недра, 1982.
2. **Факторный** анализ в геологии: Учеб. пособие / А. И. Бахтин, Н. М. Низамутдинов, Н. М. Хасанова, Е. М. Нуриева. — Казань: Казанский гос. ун-т, 2007.

**luntik87@mail.ru**

