



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ

УДК 621.311.4.016.2.001.2

Определение договорной мощности промышленных предприятий¹

КУДРИН Б. И., доктор техн. наук
Гипромет, Москва

ПРОКОПЧИК В. В., канд. техн. наук, ИВАНОВА Н. В., инж.
Гомельский политехнический институт

В настоящее время одной из сложных задач планирования электропотребления промышленных потребителей является определение договорной (заявленной) мощности для часов максимальных нагрузок энергосистемы. При решении этой задачи предприятия «Энергонадзор» пользуются материалами [1], регламентирующими порядок определения и контроля максимальной мощности. В принципе максимальная мощность предприятия определяется из выражения:

$$P_{\max(y.v)} = \frac{A_{\text{сут}}}{24k_{\text{э}}(y.v)}, \quad (1)$$

где $A_{\text{сут}}$ — среднесуточное планируемое электропотребление для рабочего дня расчетного периода, кВт·ч; $k_{\text{э}}(y.v)$ — коэффициент заполнения (утренний, вечерний), определяемый из суточного графика нагрузки предприятия за «режимные» дни.

В настоящее время признано, что расчеты по формуле (1) дают большую погрешность из-за низкой точности исходных данных. Действительно, фактические значения $A_{\text{сут}}$ для предприятий непостоянны во времени. Результаты обработки статистических данных для ^{сум. мит} 70 промышленных предприятий региона показывают, что $A_{\text{сут}}$ для рабочих суток конца и начала месяца в большинстве случаев отличаются на 30—80%. Однако есть и такие предприятия, где значения $A_{\text{сут}}$ в течение рабочих суток отличаются в 3—5 раз. В связи с этим использование некоторого среднего значения $A_{\text{сут}}$ для квартала или месяца, естественно, приводит к среднему (условному) значению P_{\max} . Кроме того, значения $k_{\text{э}}(y.v)$ находят из суточного графика, который можно рассматривать как единичное «сечение» реализации случайной функции длительностью полгода. Несмотря на то, что графики нагрузки предприятий за «режимные» дни снимаются под контролем предприятий «Энергонадзор», потребители электроэнергии создают удобный для них график, который приближенно отражает фактический режим потребления электроэнергии. Расчеты авторов в части оценки корреляционных связей графиков за «режимные» дни с графиками за другие дни для ряда предприятий показали неустойчивость таких связей.

В последние годы разрабатываются новые методы определения максимальной мощности предприятий [2], использующие среднесменную мощность или мощность на более коротких интервалах времени. Однако получить такие данные можно путем измерения этих величин только для отдельных потребителей, а для массовых расчетов

при заключении договоров на пользование электроэнергией это представляется невозможным.

Повышения точности расчетов по выражению (1) можно достигнуть, если при определении $A_{\text{сут}}$ воспользоваться системным подходом к описанию режимов электропотребления предприятия, который получил некоторое распространение при решении задач классификации систем электроснабжения [3]. При этом предлагается использовать методы многомерной статистики, которые основаны на обращении к системному анализу рассматриваемого явления, основных его составляющих и их связей.

Для решения задач управления электропотреблением авторами создана база данных (БД) по электрическому хозяйству промышленных предприятий региона. Такая БД сформирована в виде многоуровневой распределительной системы. С учетом специфики задач управления электрическим хозяйством предприятий логическая структура БД выполнена в виде функционально различных систем: А — кодирование предприятий по принципу административного деления в регионе (принадлежность к отрасли промышленности, производственному объединению); В — «календарное» накопление информации в виде основных и дополнительных электрических показателей (суточное, месячное, квартальное, годовое); С — программное обеспечение (комплекс программ по прогнозированию, кластерному и корреляционно-регрессионному анализу). При создании БД использовались формы статотчетности 11-сн, 24-Э, данные о суточном электропотреблении предприятий и графики электрических нагрузок за «режимные» дни.

На первом этапе исследовалась устойчивость развития электрического хозяйства предприятий. С этой целью была осуществлена типологическая группировка потребителей региона по годовому электропотреблению и графикам электрических нагрузок за «режимные» дни.

Потребители группировались с помощью иерархической системы кластерного анализа, принцип действия которой заключается в следующем: вначале каждый объект (потребитель) рассматривается как отдельный кластер, затем последовательно объединяются в кластер два ближайших объекта, а в конечном итоге — два самых отдаленных. Мера сходства между объектами принимается как мера типа «расстояние» $R_{k_i k_j}$, которая находится следующим образом [4]:

$$R_{k_i k_j} = \sqrt{\sum_{n=1}^m \omega_n (m_{nk_i} - m_{nk_j})^2}, \quad (2)$$

где ω_n — вес n -го признака (принимается от 0 до 1); m_{nk_i}

¹ В порядке обсуждения. Ред.

Таблица 1

Номер класса	Число устойчиво сохраняющихся элементов при вероятности принадлежности к классу				Число элементов в классе	Состав элементов ядра (в процентах от общего числа элементов)
	100%	75%	50%	25%		
1	1	—	—	—	1	100
2	1	—	—	2	3	33
3	1	—	—	2	3	33
4	21	7	2	4	34	82
5	—	1	—	1	2	50
6	—	—	—	2	2	Неустойчивый
7	—	—	—	2	2	Неустойчивый
8	1	—	—	—	1	100
9	1	—	—	—	1	100
10	1	—	—	—	1	100
11	4	5	4	2	15	60
12	—	1	—	4	5	20
13	—	2	—	—	2	100
14	1	—	—	—	1	100
15	1	—	—	—	1	100

и m_{nk_j} — средние значения n -го признака по классам k_i и k_j .

По междуклассовому расстоянию $\Delta R_{k_i k_j}$, фиксируемому на каждом этапе классификации, находят оптимальное разбиение (выявляется вариант, для которого приращение $\Delta R_{k_i k_j}$ оказывается минимальным по сравнению с последующим шагом). Такое разбиение принимается в качестве базового. Расчеты, проведенные для 232 предприятий региона, показали, что оптимальным для этих условий является разбиение на 15 классов. Результаты классификации при разбиении на оптимальное число классов по графикам электрических нагрузок за зимний («режимный») день 1984—1987 гг. приведены в табл. 1.

Рассматривая результаты классификации по графикам электрических нагрузок, можно отметить следующее: 13 из 15 классов оказались устойчивыми, что составляет около 86 % состава исследуемой выборки. При этом у 7 классов ядро составило 100 % общего состава класса. Классы 4 и 11, содержащие наибольшее число элементов, имеют наиболее высокий процентный состав элементов ядра (82 и 60 %).

Аналогичные расчеты при классификации по годовому электропотреблению показали, что устойчивыми оказались 14 из 15 классов.

При этом у 10 классов элементов ядра составили 100 % общего состава класса и у 2 классов — 90 %.

Полученные результаты показывают, что при классификации предприятий региона по годовому электропотреблению больше число устойчивых классов и более высокий процентный состав элементов ядра, чем при классификации по графикам электрических нагрузок. В целом результаты классификации показывают устойчивость развития электрического хозяйства предприятий во времени и допустимость применения методов многомерной статистики при решении задач управления электропотреблением. Например, задача лимитирования мощности предприятий [2] может решаться для каждого кластера отдельно (в каждый класс входят конкретные предприятия, обладающие похожими свойствами в части формирования максимума нагрузки). Однако индивидуальные особенности каждого предприятия учитываются при этом приближенно, так как они описываются только таким интегральным показателем, как годовое электропотребление $A_{год}$.

Таблица 2

Номер класса k_i	1986 г.			1987 г.			1988 г.		
	$A_{сут}$, тыс. кВт·ч	Число дней N	\sqrt{D}	$A_{сут}$, тыс. кВт·ч	Число дней N	\sqrt{D}	$A_{сут}$, тыс. кВт·ч	Число дней N	\sqrt{D}
1	99,9	2	0	67,83	3	0,8	85,84	5	1,87
2	83,1	2	1,8	60,6	2	0,60	75	8	2,10
3	67,3	3	0,2	54,5	6	1,3	68,7	9	0,47
4	59,9	2	0,14	46,3	38	2,27	59,7	9	2,04
5	52,72	6	1,02	39,05	65	1,23	53,08	18	0,92
6	43,17	31	1,6	31,82	15	2,67	47,81	68	1,65
7	31,61	56	1,7	18	4	1,87	42,46	16	0,86
8	20,61	29	1,8	12,6	2	1,10	20,7	1	0,0
9	11,2	1	0,0	5,9	3	1,10	10,13	3	2,05
10	1,81	50	0,14	0,55	44	0,25	0,47	46	0,05

Примечание. $A_{сут}$ — среднее суточное значение электропотребления, соответствующее данному классу; N — число суток (дней) исследуемого периода, попадающих в конкретный класс; \sqrt{D} — среднеквадратическое отклонение значений признака в каждом классе.

Таблица 3

Ступень	Показатели	1986 г.	1987 г.	1988 г.
Верхняя	Электропотребление ступени A_B , МВт·ч	43,17	46,3	53,08
	$(A_B/A_G) \cdot 100, \%$	136,5	118,5	111,0
	Число дней ступени N_B	31	38	18
	$(N_B/N_{ст}) \cdot 100, \%$	26,7	32,2	17,6
Базисная	$(N_B/N_D) \cdot 100, \%$	23,4	27,5	13,2
	Электропотребление базисной ступени A_G , МВт·ч	31,61	39,05	47,81
	Число рабочих дней N_D	132	138	136
	Число дней всех ступеней $N_{ст}$	116	118	102
Нижняя	Число дней базисной ступени N_G	56	65	68
	$(N_{ст}/N_D) \cdot 100, \%$	88	85	75
	$(N_G/N_D) \cdot 100, \%$	48	47	50
	Электропотребление ступени A_H , МВт·ч	20,61	31,82	42,46
Нижняя	$(A_H/A_G) \cdot 100, \%$	65,2	81,5	88,8
	Число дней ступени N_H	29	15	16
	$(N_H/N_{ст}) \cdot 100, \%$	25	12,7	15,6
	$(N_H/N_D) \cdot 100, \%$	21,9	10,1	11,7

Код предприятия в базе данных	Электрическая мощность				
	Фактическая, кВт	Договорная—рас- считана по методике [1], кВт	Отклонение от фактической, кВт (%)	Договорная—рас- считана по методике авторов, кВт	Отклонение от факти- ческой, кВт (%)
001	64720 61000	72643 72643	7923 (12,2) 11643 (19,1)	66250 60996	1530 (2,36) 4 (6,5·10 ⁻³)
002	4800 3600	5500 4788	700 (14,6) 1188 (33)	5340 3361	540 (11,2) 239 (6,6)
005	2968 2961	3253 3345	285 (9,6) 384 (12,9)	3027 3112,7	59 (1,9) 42 (5,1)
032	3600 2900	3800 3304	200 (5,5) 404 (13,9)	3642 2769,9	42 (1,2) 131 (4,5)
Итого по группе из 22 предприятий	139017 130324	153189 149718	14172 (10,2) 19414 (14,8)	146435 135198	7418 (5,33) 4874 (3,73)

Примечание. В числителе приведены данные для утреннего максимума нагрузки, в знаменателе — для вечернего.

Для анализа внутренней структуры показателя $A_{\text{год}}$ предлагается представить его в виде последовательности суточных значений. Такой структурный анализ позволяет выделить классы, имеющие близкие значения суточного электропотребления на месячном и квартальном циклах. При этом классы характеризуются средним значением суточного электропотребления, числом суток с близкими значениями электропотребления и среднеквадратическим отклонением признака (в каждом классе). Учитывая сезонную специфику электропотребления, группировку проводили для зимнего (I и IV кварталы) и летнего (II и III кварталы) периодов года. Исследуемая выборка включала 43 предприятия различных отраслей промышленности с последовательностями суточных значений электропотребления за три предшествующих года. Анализ междуклассовой изменчивости $\Delta R_{k_i k_j}$ показал, что оптимальным является разбиение на 10 классов.

Поясним на конкретном примере принцип классификации суточного электропотребления предприятия. В табл. 2 приведена структурная группировка суточного электропотребления ПО «Гидроавтоматика» за зимний период. Наиболее представительными (по числу дней) являются классы: 6—8 (1986 г.); 4—6 (1987 г.); 5—7 (1988 г.). Общее число дней характерных классов составляет около 88 % числа рабочих дней предприятия. Класс с наибольшим числом рабочих суток принят в качестве базисного. Если по данным табл. 2 построить графики распределения электропотребления в порядке убывания значений, то получим ряд устойчивых во времени соотношений (табл. 3).

Анализ результатов такой классификации для промышленных предприятий региона показал, что электропотребление верхней, базисной и нижней ступеней не попадает на выходные, праздничные и предпраздничные дни и в сумме охватывает от 75 до 90 % рабочих дней. Причем в верхнюю ступень попадают дни, относящиеся к концу месяца, а в базисную — ко второй половине месяца (чаще всего с 15-го до 25-го); в нижнюю же ступень попадают дни первой декады. Если рассматривать динамику временных рядов электропотребления по ступеням, то они оказываются устойчивыми во времени, что позволяет с высокой точностью прогнозировать электропотребление каждой ступени на перспективу. Прогнозирование таких устойчивых рядов можно вести по методу [5] или воспользоваться методом коэффициентов темпов роста.

ОТ РЕДАКЦИИ

Определение максимальной электрической мощности предприятия имеет большое значение как для самого предприятия, так и для энергосистемы. Предлагаемая авторами методика предполагает наличие достаточно объективной входной информации.

Прогнозирование суточного электропотребления предприятия для базисной ступени в конечном итоге позволяет найти договорную мощность предприятия по формуле (1). При этом вместо $A_{\text{сут}}$ используется прогнозное значение $A_{\text{сут.прогн}}$.

Для проверки предлагаемой методики определения договорной мощности предприятий авторами проведено большое число расчетов для промышленных потребителей ПЭО «Гомельэнерго». В качестве предыстории для таких расчетов использованы данные по суточному электропотреблению предприятий за 1986—1988 гг. Результаты расчетов договорной мощности по методике [1] и предлагаемой методике приведены в табл. 4. С целью сопоставления результатов (фактических и прогнозных) расчеты приведены для декабря 1989 г. Поскольку в декабре регистрируются параметры электропотребления зимнего («режимного») дня, то по результатам измерений в табл. 4 приводятся данные по отклонению значений договорной мощности от фактических значений.

В целом можно отметить, что точность расчетов договорной мощности по предлагаемой методике более высокая, чем по [1]. Она может быть еще более высокой, если указанная мощность будет регламентироваться не на месяц и квартал, а по декадам. При этом методами кластерного анализа нужно находить электропотребление базисной ступени для каждой декады месяца, а затем прогнозировать значение электропотребления на перспективу и в конечном итоге находить значение договорной мощности предприятия на каждую декаду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструктивные материалы Главгосэнергонадзора.— 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Гордеев В. И., Демура А. В. Методика расчета лимитов мощности.— Промышленная энергетика, 1988, № 6.
3. Прокопчик В. В. Системный подход к управлению электрическим хозяйством и режимами работы электрооборудования промышленных предприятий.— В кн.: Электрификация металлургических предприятий Сибири. Томск: Томский ун-т, 1989. Вып. 6.
4. Андриксон Г. А., Глаз А. Б. Методы решения задач распознавания образов.— Рига: ЛатвНИИТИ, 1985.
5. Прокопчик В. В., Кудрин Б. И., Якимов А. Е. Прогноз электропотребления промышленных предприятий на основе индуктивного метода самоорганизации.— Изв. вузов. Энергетика, 1986, № 5.