



ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

Структурные закономерности суточного электропотребления энергосистемы

Родина Л. С., канд. техн. наук

Московский энергетический институт

Токочакова Н. В., Токочаков В. Н., кандидаты техн. наук

Гомельский политехнический институт

Качество управления энергосистемами (ЭС) и экономичность их режимов в значительной мере зависят от точности прогнозирования параметров электропотребления (ЭП). Следовательно, проблема совершенствования методов прогнозирования для достижения минимально возможного уровня ошибок актуальна для ЭС, особенно вследствие роста цен на энергоносители.

Планирование параметров электропотребления осуществляется с использованием баланса по показателям всех потребителей ЭС. Однако наибольший удельный вес в формировании максимума активной нагрузки P_{max} и электроэнергии (до 80 %) приходится на долю промышленных потребителей (ПП). Поэтому указанная проблема актуальна и для них. В случае дефицита энергоресурсов ЭС вводит ограничения, от которых страдают потребители. Из-за ошибок в планировании P_{max} ПП вынуждены либо платить штраф, либо переплачивать за недоиспользованный выделенный ресурс.

Авторами статьи предлагается методология анализа структурных закономерностей суточного электропотребления $A_{сут}$, позволяющая:

установить оптимальные временные интервалы для планирования параметров электропотребления;

дать оценку регулировочной способности исследуемого объекта по электропотреблению;

уточнить электропотребление в нерегулярные (выходные и праздничные) дни;

рассчитать перспективные значения электроэнергии и P_{max} .

Указанная методология может быть использована как в ЭС, так и на ПП. В данной статье объект исследований — Гомельская ЭС, от которой питается 232 ПП. Энергосистема является дефицитной: лишь 45 % всей нагрузки покрывается собственными генерирующими мощностями.

Для анализа режимов работы энергосистемы предложено использовать метод кластерного ана-

лиза, в частности, структурной группировки (расчленение качественно однородной совокупности на группы, характеризующие ее строение, структуру). Под структурой понимается распределение частот встречаемости по интервалам группировки, где интервалы и число групп выбираются различным образом. Так как данные $A_{сут}$, подлежащие анализу, не имеют меток, указывающих на принадлежность к соответствующему классу, структурная группировка выполняется с помощью иерархической схемы кластерного анализа, принцип построения которой заключается в следующем: вначале считается, что каждое значение $A_{сут}$ — отдельный кластер, затем в кластер последовательно объединяются два ближайших значения $A_{сут}$, а в конечном итоге — два самых отдаленных кластера. Мера сходства между значениями принимается как мера типа “расстояние” и определяется по формуле

$$R_{K_i K_j} = \sqrt{(m_{K_i} - m_{K_j})^2},$$

где m_{K_i} и m_{K_j} — средние значения признака в классах K_i и K_j .

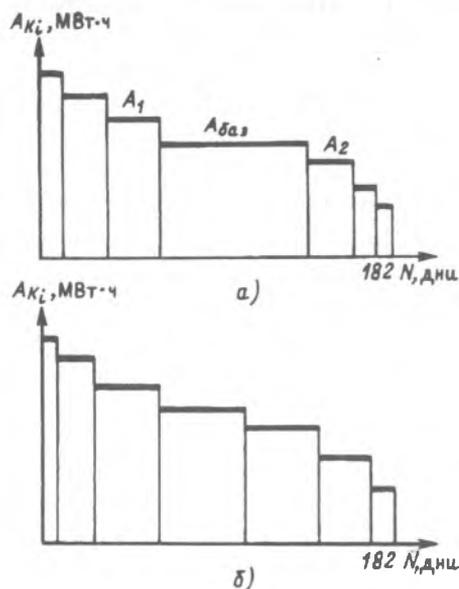
Существенной особенностью задачи является необходимость априорного задания числа классов. Авторами разработан метод оптимизации структуры по коэффициенту вариации базисного (самого емкого по дням) класса, не превышающему 5 %. Разбиение по указанному значению коэффициента вариации принимается за основу.

Исследовалась выборка значений $A_{сут}$ за 4 года. Учитывая сезонную специфику электропотребления, расчеты выполнялись отдельно для осенне-зимнего (IV квартал предыдущего года и I квартал следующего года) и весенне-летнего (II и III кварталы) периодов. Конечным этапом классификации $A_{сут}$ являлось формирование классов, объединяющих дни с близкими значениями электропотребления. Класс характеризуется: средним значением электропотребления A_{K_i} , дисперсией σ значений $A_{сут}$ в классе и числом суток (временной емкостью) N_{K_i} .

Класс	1989 — 1990 гг.			1990 — 1991 гг.		
	A_{K_i} , МВт·ч	N_{K_i} , дни	σ , МВт·ч	A_{K_i} , МВт·ч	N_{K_i} , дни	σ , МВт·ч
Осенне-зимний период						
1	32 284	3	217	36 334	1	0
2	31 216	16	235	32 496	13	444
3	30 009	56	428	31 069	34	305
4	28 693	15	173	29 909	41	400
5	27 583	47	417	28 622	15	234
6	26 155	18	309	26 220	73	1144
7	24 811	17	355	22 754	5	482
Весенне-летний период						
1	24 518	38	402	29 770	4	488
2	23 356	51	254	27 258	2	436
3	21 717	10	169	23 297	123	996
4	22 511	37	204	26 019	5	290
5	20 607	12	303	20 661	27	298
6	19 494	34	418	19 281	21	386
7	17 968	1	0	18 194	1	0

Анализ структурной группировки $A_{сут}$ Гомельской ЭС как для осенне-зимнего, так и для весенне-летнего периодов позволил выделить оптимальное разбиение, соответствующее семи классам (см. таблицу). Если сформированные классы ранжировать в порядке убывания A_{K_i} по оси Y , а по оси X отложить время, то полученная ломаная линия будет соответствовать графической интерпретации структурной модели.

Для энергосистемы возможны два вида структурной модели (см. рисунок): со средним расположением базисной ступени (*а*) и с дроблением классов (*б*). Первый вид модели характерен для периодов устойчивого функционирования: базисный класс ярко выражен, его временная емкость составляет до 70 % общего числа дней расчетного периода; возможно регулиро-



вание ЭП как в сторону снижения, так и повышения, однако временной интервал такого регулирования составляет 5 — 7 %. Классы с более низкими значениями A_{K_i} , чем в базисном классе, объединяют либо нерегулярные дни периода, либо начальные дни месяца, а классы с более высокими значениями A_{K_i} — последние дни месяцев, кварталов. Этот вид модели был характерен для весенне-летнего периода 1988 г. и 1991 г. (периоды спада промышленного производства).

Впервые модель с дроблением классов была разработана для отдельных ПП, вынужденных регулировать свои параметры. Для ЭС данный вид модели наиболее пригоден, так как характерен не только для осенне-зимнего, но и весенне-летнего периода. Временная емкость базисного класса этой модели приблизительно такая же, как дополнительных. Электропотребление в нерегулярные дни близко по значению ЭП в рабочие дни недели, что свидетельствует о сдвиге некоторыми ПП выходных дней вследствие возникновения в ЭС дефицита электроэнергии.

В результате исследований установлено: структуры осенне-зимнего и весенне-летнего периодов одного года сходны, что указывает на устойчивость функционирования ЭС;

предельно низкие по электропотреблению классы объединяют нерегулярные дни ЭС;

численное значение $A_{баз}$ в весенне-летний период ниже, чем в осенне-зимний, что отражает сезонную специфику электропотребления.

С использованием структурной модели $A_{сут}$ ЭС была дана оценка ее регулировочной способности. Для этого на структурной модели кроме базисного класса выделялся ряд дополнительных, причем таким образом, чтобы длительность времени всех ступеней составила 90 % общего числа дней периода. Абсолютная величина регулирования определяется как разность в электропотреблении базисного и дополнительного классов, а интервал регулирования — временной емкостью дополнительных классов. Также установлено, что для осенне-зимнего периода максимальное снижение ЭП составляет 14 % при длительности регулирования относительно дней расчетного периода 22 %, повышение ЭП — 18 % при длительности 20 %; для весенне-летнего периода максимальное снижение ЭП равно 17 % при длительности регулирования 12 %.

Анализ структуры электропотребления независимо от периодов года позволил выделить классы, объединяющие нерегулярные дни. Процент снижения ЭП в нерегулярные дни относительно базисного класса осенне-зимнего периода ниже соответствующей величины весен-

риода ниже соответствующей величины весенне-летнего периода, что свидетельствует о более напряженном режиме работы ЭС в зимний период. Составленные тренды из значений A_{K_i} классов, объединяющих нерегулярные дни, позволили дать прогнозную оценку ЭП в эти дни на перспективу.

Разработанная авторами и реализованная на ПЭВМ программа структурной группировки позволяет выполнять анализ состава классов по дням недели, декадам месяца, месяцам и формировать тренды значений A_{K_i} , соответствующих указанным периодам, что дает возможность рас-

считать перспективные значения ЭП.

Выводы

1. Разработанные структурные модели $A_{сут}$ ЭС позволяют выполнить всесторонний анализ режимов электропотребления и дать прогнозную оценку ЭП для различных временных интервалов.

2. Методология структурной группировки $A_{сут}$ может быть использована как для отдельных ПП, так и для ЭС.

Подчиненное управление электроэнергетическими установками с переменными режимами работы

Богомолов В. С., доктор техн. наук

Калининградский государственный технический университет

Многие электроприводы и электроэнергетические агрегаты (судовые гребные электрические и валогенераторные установки, прокатные станы, некоторые металлорежущие станки, подъемные краны и др.) работают в условиях резких и значительных возмущений со стороны нагрузки, что обусловлено их технологическим назначением. При этом системы управления не всегда обеспечивают достаточную надежность их функционирования и требуемый уровень технической эксплуатации, так как они действуют главным образом по отклонению регулируемой величины и не в полной мере учитывают все факторы, влияющие на систему.

Качество регулирования электрических параметров режима — напряжения и тока — можно улучшить, если рассматривать электроэнергетические установки (ЭЭУ) как системы с подчиненным регулированием [1]. Особенностью ЭЭУ является то, что их регуляторы связаны не по управлению (в этом случае управляющий сигнал поступает с выхода предыдущего на вход последующего регулятора по электрическому проводнику), а по нагрузке (при этом регуляторы связаны между собой через объект управления в переходном процессе регулируемой величины). В качестве примера такой системы подчиненного управления (СПУ) рассмотрим гребные электрические (ГЭУ) и валогенераторные (ВГУ) установки [2, 3].

В обеих установках объектом управления является гребной вал. Частота его вращения изменяется по произвольному закону в результате изменения нагрузки на гребном винте (волнение

моря, оголение гребного винта, попадание под винт посторонних предметов и др.). Для ее стабилизации предусмотрен регулятор частоты вращения (РЧВ), который образует внешний контур регулирования СПУ. Изменение частоты вращения гребного вала позволяет количественно оценить степень возмущений со стороны нагрузки, поэтому РЧВ можно косвенно считать действующим по возмущению. Изменение частоты вращения в ГЭУ приводит к изменению противоэ.д.с. гребного электродвигателя (ГЭД) и соответственно к изменению тока главной цепи, а в ВГУ — к изменению напряжения валогенератора (ВГ). Регуляторы тока (РТ) и напряжения (РН) стабилизируют ток и напряжение и действуют по отклонению регулируемой величины. Таким образом, данная система управления является комбинированной.

Анализ РН и РТ, образующих внутренний контур СПУ, можно проводить отдельно, независимо от регулятора частоты вращения, поскольку время переходного процесса в механическом (или гидравлическом) РЧВ значительно больше, чем в электронных РТ или РН. Кроме того, при отсутствии волнения моря работает только РЧВ, в то время как РТ и РН не функционируют. Отнесение регуляторов к разным контурам регулирования позволяет несколько упростить анализ системы. В действительности же они воздействуют друг на друга и влияют на качество переходных процессов в данных установках [2, 3].

Исследование ЭЭУ как систем с подчиненным управлением со связью регуляторов через объект