

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ЦЕНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ*

Канд. техн. наук ЖИЛИН Б. В.

Новомосковский институт РХТУ имени Д. И. Менделеева

Современные системы электроснабжения крупных промышленных предприятий содержат значительное количество элементов и представляют собой сложные системы, для анализа которых возможно применение системно-структурного подхода [1]. Он заключается в том, что элементы внутри таких систем могут быть подвержены классификации для определения структуры. При этом свойства системы не определяются аддитивно через свойства элементов и их связей, но являются их следствием и в значительной степени порождены структурой системы. С этой точки зрения ценологический подход [2], основанный на анализе структурных закономерностей, – один из возможных путей системного анализа. В соответствии с принятой терминологией в этом случае сложные системы называют ценозами, а применительно к техническим объектам – техноценозами [2]. Закономерности, характерные для ценозов, проявляются в системах различной природы: материальных (физических, биологических, технических), социальных, идеальных. В разных областях знания они носят названия законов Ципфа, Фишера, Лотки, Парето и т. д. Существование аналогичных структурных закономерностей для технических объектов впервые обнаружил профессор Б. И. Кудрин.

Наличие структурных ограничений позволяет не только анализировать системы, но и несет в себе конструктивное начало, позволяя снижать (снимать) неопределенность информации, получаемой статистическими наблюдениями, для прогнозирования параметров и свойств как системы в целом, так и отдельных ее элементов. Для решения прикладных задач была разработана математическая модель, приводящая к структурным закономерностям, характерным для наблюдаемых ценозов [3]. Такая структура получается в результате решения оптимизационной задачи с ограничениями по ресурсу, предоставленному ценозу и численности его элементов. В качестве целевой функции используется фундаментальное понятие – энтропия как мера разнообразия. Прямые аналогии с диссипативными неравновесными системами по [4] позволяют говорить о том, что структура ценозов проявляется в результате явлений самоорганизации.

Из-за наличия ограничений элементы различных видов «конкурируют», т. е. происходят процессы, аналогичные естественному отбору в биологии. Б. И. Кудрин ранее ввел понятия материального, технического и информационного отборов. Для технических систем, например, при создании электрохозяйства предприятия механизм действия такого отбора проявляется следующим образом. Проектировщик из возможных проектных решений выбирает наилучший вариант с позиций своего опыта. При сооружении объекта вносятся коррективы, вызванные рядом обстоятельств, на-

* Публикуется в порядке обсуждения. – Ред.

правленные на наиболее эффективную реализацию проекта с учетом складывающихся условий. В процессе эксплуатации объекта продолжают вноситься изменения в проект реконструкции для достижения максимальной эффективности производства. В результате в функционирующей системе наблюдаются указанные закономерности, что подтверждается многочисленным статистическим материалом.

Одна из основных закономерностей структуры систем проявляется в том, что она адекватно описывается H -распределением. Ранговое по параметру H -распределение (гиперболическое распределение) для расходов электроэнергии (ЭЭ) записывается в форме

$$W_r = W_1/r^\beta, \quad r = 1, \dots, S, \quad (1)$$

где W_r – величина параметра с рангом r , ГВт·ч; W_1 и β – постоянные распределения, причем W_1 – это максимальный расход ЭЭ на один из видов продукции, ГВт·ч; S – общее количество видов продукции, шт.

Наличие H -распределения в ранговой форме (1) для расходов ЭЭ на выпуск отдельных видов продукции, обнаруженное на большом фактическом материале и лежащее в основе метода структурообразующих рангов [5], можно объяснить следующим образом. H -распределение относится к устойчивым негауссовым распределениям, математическая теория которых была создана в середине XX в., а ее создателями явились П. Леви, А. Я. Хинчин, Б. В. Гнеденко, А. Н. Колмогоров и др. Устойчивость распределения означает, что сумма случайных величин с фиксированным законом распределения имеет тот же закон распределения. Расходы ЭЭ определяются объемами выпускаемой продукции и удельными расходами ЭЭ, а объемы выпуска продукции – множеством факторов: ситуацией на рынке сбыта, наличием финансовых, сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, социальными и политическими факторами и др. Аналогичные рассуждения можно привести и для удельных расходов. Учитывая общность H -распределения для структур систем-ценозов любой природы, следует признать, что сумма H -распределений, определяемых каждым из перечисленных (и неперечисленных) факторов, приводит к итоговому H -распределению для расходов ЭЭ. Заметим, что H -распределение – это статистический закон, т. е. он тем лучше выполняется, чем большее количество элементов содержит система и чем большее количество факторов влияет на формирование ее структуры.

В [5] предложен метод структурообразующих рангов и показаны примеры конструктивного применения обнаруженных закономерностей на основе использования понятия «идеальной» гиперболы [3], параметры которой получаются из условия выполнения ограничений. Дальнейшие исследования в этом направлении позволили избежать ряда недостатков изложенного метода и соответственно распространить применение указанного подхода в целом на отрасль черной металлургии.

Кратко напомним постановку задачи из [5]. На предпроектных стадиях создания промышленного предприятия необходимо определение, в частности, электропотребления проектируемого объекта. Рассматриваются предприятия черной металлургии, представленные в БД [6]. Даже при известных достоверных удельных расходах ЭЭ и (планируемых) объемах производства основных видов продукции невозможно определить полное

электропотребление предприятия простым суммированием расходов ЭЭ, так как отсутствует информация по всем его видам продукции подразделениям. Количество видов продукции, выпускаемой крупным металлургическим предприятием, может быть более одной-двух сотен наименований, а объемы выпуска и номенклатура «мелких» видов продукции изменяются ежегодно. Так, для предприятий черной металлургии, представленных в БД [6], сумма расходов ЭЭ на производство основных видов продукции $W_{го}$ составляет от общего электропотребления предприятия $W_{ф}$: $W_{го}/W_{ф} = (40...100) \%$.

Сущность метода, изложенного в [5], заключается в том, что через расходы ЭЭ на основные виды продукции определялись константы эмпирической гиперболы (1) W_1 и β , и на их основе через полученные соотношения для «идеальной» гиперболы – ограничение по ресурсу (здесь электропотребление) в целом для ценоза (предприятия). Однако метод в форме, изложенной в [5], обладает рядом недостатков. Во-первых, при анализе статистической информации для получения константы β по величинам параметра начальных рангов необходимо применение метода наименьших квадратов (МНК). Известно, что для ряда функций, в том числе и степенной (которой по своей сути является Н-распределение), существуют два типа МНК. Линейный метод наименьших квадратов минимизирует сумму логарифмов среднеквадратичных отклонений: выражения для определения констант аналогичны линейной функции, но с использованием логарифмов. Нелинейный метод наименьших квадратов минимизирует сумму среднеквадратичных отклонений. Так как производится обработка реального статистического материала, имеющего отклонения от «идеальной» гиперболы, результат зависит от типа МНК. Во-вторых, при определении суммарного ресурса используется эмпирическое значение W_1 . Как показали многочисленные исследования систем-ценозов (проведенные не только автором статьи), величина параметра первого ранга W_1 является наиболее устойчивой из всех других рангов. Однако известны случаи существенного отклонения этой величины от общей структуры ценоза, что ведет к увеличению погрешности.

Чтобы избавиться от указанных недостатков, константы гиперболы определяем из условия равенства разнообразия начальных рангов заданному, а также общего ограничения на ресурс. В качестве меры разнообразия принята функция энтропии. В этом случае отпадает необходимость использования МНК, так как константа β находится из условия равенства энтропии начальных рангов эмпирической и «идеальной» гипербол. Кроме этого, определение суммарного ресурса производится на основе не одной точки (с максимальным значением параметра W_1), а информации об ансамбле значений параметров в нескольких известных начальных рангах.

Заметим, что трем способам получения (линейный МНК, нелинейный МНК и предлагаемый здесь) отвечает одна и та же «идеальная» гипербола при заданных ограничениях. Однако при обработке различного статистического материала разные способы получения, разные МНК должны соответствовать одним и тем же константам «идеальной» гиперболы, что ведет к изменению параметров «идеального» ценоза и соответственно к разной величине погрешности.

Алгоритм метода структурообразующих рангов в этом случае имеет следующий вид:

1) определяются годовые расходы W_r ЭЭ на выпуск основных видов продукции ($r = 1, \dots, S_0$), т. е. той части потребителей предприятия, для которых возможно получение информации тем или иным способом. Применительно к БД [6] – это известные расходы ЭЭ на 15 основных видов продукции отрасли. Заметим, что на конкретном предприятии количество видов выпускаемой продукции S значительно, а из указанных 15 – выпускается S_0 (обычно $S_0 = 1 \dots 13$ видов);

2) определяется величина разнообразия фактических расходов ЭЭ на основные виды продукции по величине энтропии

$$H(W_1^*, W_2^*, \dots, W_{S_0}^*) = - \sum_{r=1}^{S_0} W_r^* \ln(W_r^*),$$

где $W_r^* = W_r/W_{r0}$ – относительное значение расхода электроэнергии.

Затем определяются константы «идеальной» гиперболы W_1^* и β , которая имеет то же значение энтропии начальных рангов;

3) по известным константам гиперболы и заданному общему количеству видов продукции S определяем сумму расходов ЭЭ в относительных единицах для S_0 видов продукции. Зная эту величину в именованных единицах W_{r0} , определяем значение ограничения по ресурсу для ценоза в целом, т. е. в данном случае суммарное электропотребление.

Использование метода структурообразующих рангов в такой форме для значительно большего количества предприятий БД [6] показывает удовлетворительные результаты с погрешностью не выше 10 %.

В [5] приводились суммарные показатели функционирования некоторых предприятий за ряд лет. Для иллюстрации работы метода в отличие от [5] рассмотрим динамику параметров структуры электропотребления одного из предприятий – Нижнетагильского металлургического комбината (название приводится по [6]). На рис. 1 показаны шесть максимальных расходов ЭЭ на производство шести основных видов продукции, а также относительная погрешность метода, определенная как относительная разность между модельным и фактическим электропотреблением (правая шкала). За рассматриваемый период на предприятии произошли существенные изменения структуры расходов ЭЭ: фактическое электропотребление предприятия увеличилось в полтора раза (с 2015,4 до 3633,0 ГВт·ч); W_1 – почти в три раза (с 338,4 до 804,7 ГВт·ч) с изменением вида продукции, соответствующего первому рангу; отношение W_{r0}/W_ϕ изменилось от 73,8 до 81,6 %; S_0 увеличилось с 12 до 13, три начальных ранга поменялись местами.

Можно видеть (рис. 1), что даже при существенном изменении структуры расходов ЭЭ метод показывает хорошую точность в определении электропотребления предприятия в целом. Заметим, что погрешность снижается в периоды стабильной структуры расходов ЭЭ (1970–1973 гг. и 1984–1990 гг.), хотя между собой такие структуры отличаются существенно. Так как проектирование системы электроснабжения осуществляется для максимальной загрузки технологического оборудования, т. е. для стабильных условий, следует ожидать соответствия структуры электропотребления «идеальному» Н-распределению.

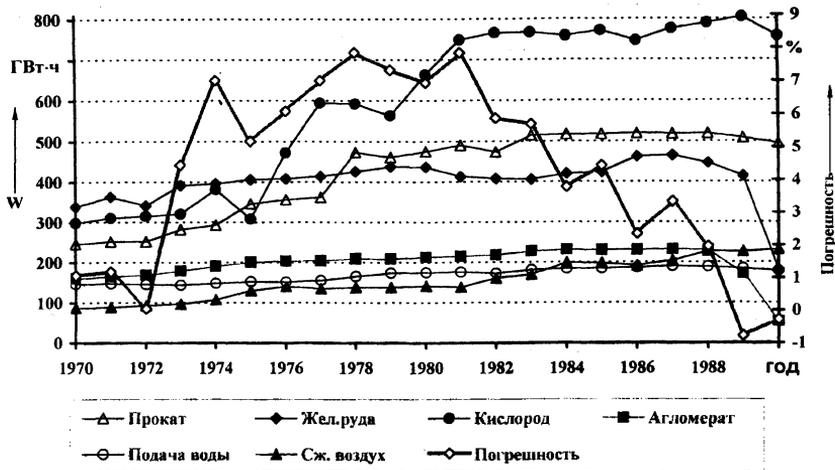


Рис. 1. Расходы электроэнергии на основные виды продукции Нижнетагильского металлургического комбината и погрешность метода структурообразующих рангов

Проверка указанного метода на объектах из [6] показала, что для абсолютного большинства предприятий можно получить удовлетворительную точность определения суммарного электропотребления. Исключение составляют предприятия, информация о структуре расходов ЭЭ которых недостаточна, т. е. предприятия, для которых в БД указано малое количество начальных рангов ($S_0 = 1 \dots 4$).

Таким образом, использование структурных закономерностей систем ценологического типа позволяет снижать неопределенность информации при нахождении электропотребления предприятия на предпроектных стадиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николос Г., Пригожин И. Познание сложного. – М.: Мир, 1990. – 342 с.
2. Кудрин Б. И. Введение в технетику. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 1993. – 552 с.
3. Жилин Б. В. Модели формирования структуры ценозов. Ценологические исследования. – Вып. 1. – Математическое описание ценозов и закономерности технетики: Матер. первой международной конференции, Новомосковск 24–26 января. – М., 1996. – С. 142–156.
4. Николос Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. – М.: Мир, 1979. – 512 с.
5. Жилин Б. В. Определение электропотребления предприятия в условиях неполноты информации с использованием ценологических свойств систем // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1998. – № 5. – С. 51–56.
6. Авдеев В. А., Кудрин Б. И., Якимов А. Е. Информационный банк «Черметэлектро». – М.: Электрика, 1995. – 400 с.

Представлена кафедрой
электроснабжения

Поступила 16.02.2000