

О РАСШИРЕНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ЦЕЛЬЮ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ТЭР

Токочакова Н.В., к.т.н., Колесник Ю.Н., инж.

Для объективной оценки эффективности внедрения энергосберегающих мероприятий и правильного управления работой энергохозяйства необходимо большое количество первичной информации. *Нельзя управлять тем, что невозможно измерить.* Современные автоматизированные системы позволяют с высокой точностью измерять как параметры электропотребления, так и прочие характеристики технологического процесса производства. Эффект от их внедрения в основном зависит от глубины анализа суточных графиков электрических нагрузок, что позволяет произвести корректировку заявленного максимума, а также снизить расход электроэнергии. При этом возможности технического учета используются далеко не полностью.

Практика эксплуатации систем автоматизированного сбора и обработки данных выявила следующие недостатки:

- современные системы автоматизированного сбора и обработки информации в основном направлены на решение узкого круга формальных задач, связанных с организацией коммерческого учета;
- накапливаемые массивы статистической информации не подвергаются серьезному математическому анализу;
- в большинстве случаев невозможно воспользоваться частью статистики из-за нестандартных форматов программного обеспечения;
- привязка систем автоматизированного сбора и обработки данных не обеспечивает исходной информацией задачи управления электропотреблением.

Программное обеспечение существующих средств технического учета, как правило, позволяет создавать массивы данных в разрезе различных временных интервалов, которым в большинстве случаев свойствен лишь информативный характер. Формируемые же суточные графики и их основные характеристики, такие как максимальная и средняя нагрузки, коэффициенты максимума, заполнения и формы графиков не отображают и не могут характеризовать всю специфику энергоиспользования промышленных потребителей электроэнергии, а значит, не позволяют более эффективно решать задачи управления и принимать оперативные решения, направленные на снижение потребления ТЭР.

Современные математические методы обработки статистической информации не принимаются во внимание разработчиками программного обеспечения для средств автоматизированного сбора данных. Использование же результатов дополнительного анализа позволяет, прежде всего, давать более объективную оценку эффективности энергоиспользования, чем это делается в настоящее время. Кроме того, использование дополнительных программ позволяет совершенствовать процесс управления энергохозяйством. *В конечном счете, предлагаемые разработки позволяют расширить функциональные возможности систем автоматизированного сбора и обработки данных и являются эффективным средством для решения задач управления потреблением ТЭР.*

Электрическое хозяйство современного промышленного предприятия – специфическое звено управления. Существующие системы электроснабжения представляют собой большое многообразие слабосвязанных и слабовзаимодействующих элементов. Принимая решения об установке средств автоматизированного учета и контроля электропотребления необходимо учитывать уровень значимости каждого из уровней системы электроснабжения [1]. И если опираться на устаревшие методы, то эффективное управление такими системами практически невозможно. Привязка систем автоматизированного сбора и обработки информации к конкретным предприятиям должна быть основана на накопленном опыте специалистов, и базироваться на учете специфики каждого конкретного завода, ГПП, РП, цеха и даже электроприемника, как одного из подуровней системы управления.

В целом, все многообразие задач управления, решаемых благодаря автоматизированным системам учета и контроля параметров электропотребления, можно показать при помощи структурной схемы (рис.1).

Учет осуществляется при помощи первичных счетчиков. Их данные поступают по линиям связи в устройства преобразования и первичной обработки информации. Далее формируются массивы данных, которые хранятся в памяти компьютера. Они и используются для решения задач управления. Получаемые при этом результаты применяются с целью воздействия на СЭС, и направлены на снижение потребления ТЭР. *Очевидно, что воздействие будет наиболее оправданным по отношению к группам потребителей, которые нерационально используют ТЭР.* Существующее программное обеспечение не всегда позволяет выявлять группы таких потребителей.

Предлагается методика, позволяющая выявлять такие группы потребителей. Методика основана на анализе режимов электропотребле-

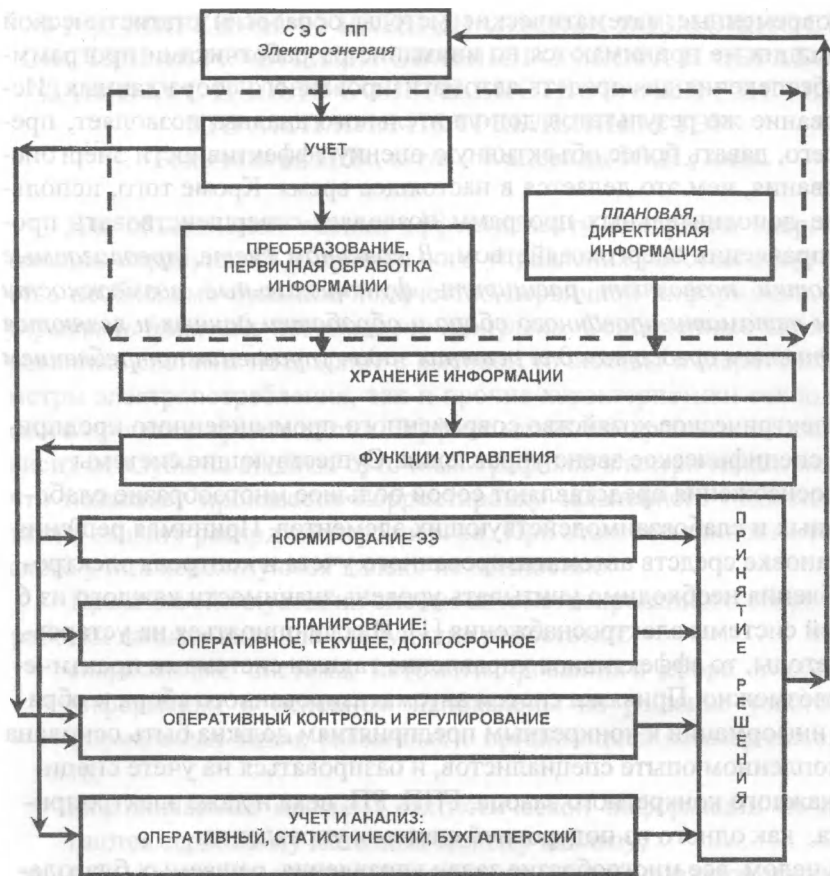


Рис. 1. Организация системы управления энергетическим хозяйством промышленных предприятий

ния за счет обработки массивов статистической информации с использованием математического аппарата теории распознавания образов (кластерный анализ). Исходные данные по технологическим переделам предприятия могут быть получены от автоматизированных систем сбора и обработки информации, а способ кластеризации [4] выбирается под конкретную задачу управления (рис. 1). В частности, для достоверной оценки регулировочной способности потребителя значения суточного электропотребления предприятия за определенный промежуток времени, например период года, разбиваются по классам. Разбиение совокупности производится методом средней связи (рис. 2), [4].

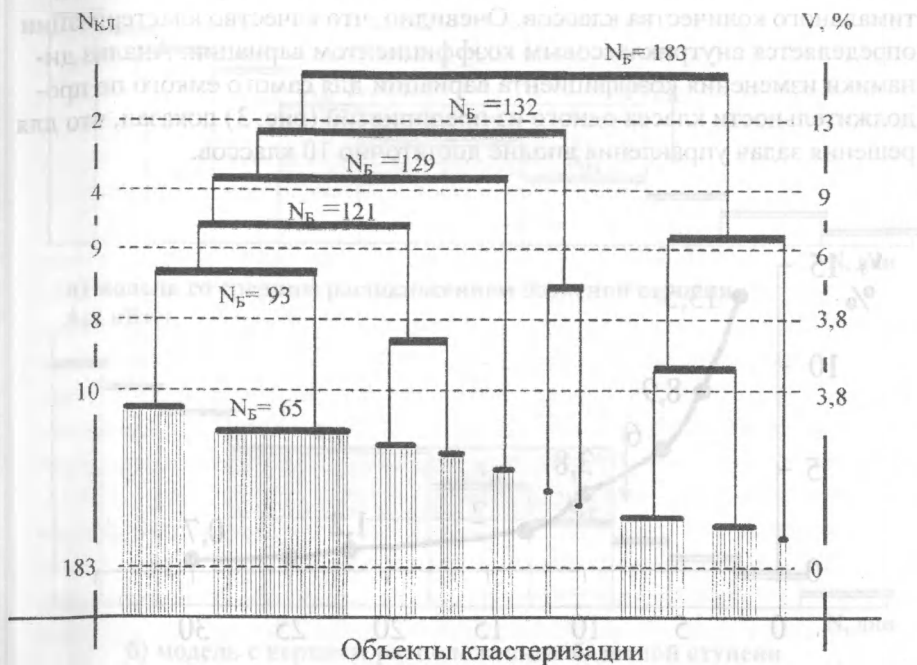


Рис. 2. Дендограмма кластеризации методом средней связи:

$N_{\text{кл}}$ – количество классов на каждом шаге кластеризации;

V – коэффициент вариации базисного класса, емкостью $N_{\text{б}}$.

Ближайшие значения электропотребления объединяются в один класс. Каждый шаг кластеризации сопровождается формированием матрицы расстояний между классами:

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

а также определением внутриклассового коэффициента вариации группировки:

$$V = \left(\frac{\sigma}{M} \right) \cdot 100 \%$$

где M_{K_j} , M_{K_i} – средние значения по классам K_j и K_i соответственно.

Таким образом, каждый класс характеризуется средней величиной суточного электропотребления, количеством суток и величиной коэффициента вариации. Классы с наименьшим расстоянием объединяются вновь. Процесс повторяется до тех пор, пока не образуется один

единственный класс. В этой связи задача сводится к определению оптимального количества классов. Очевидно, что качество кластеризации определяется внутриклассовым коэффициентом вариации. Анализ динамики изменения коэффициента вариации для самого емкого по продолжительности класса одного из предприятий (рис. 3) показал, что для решения задач управления вполне достаточно 10 классов.

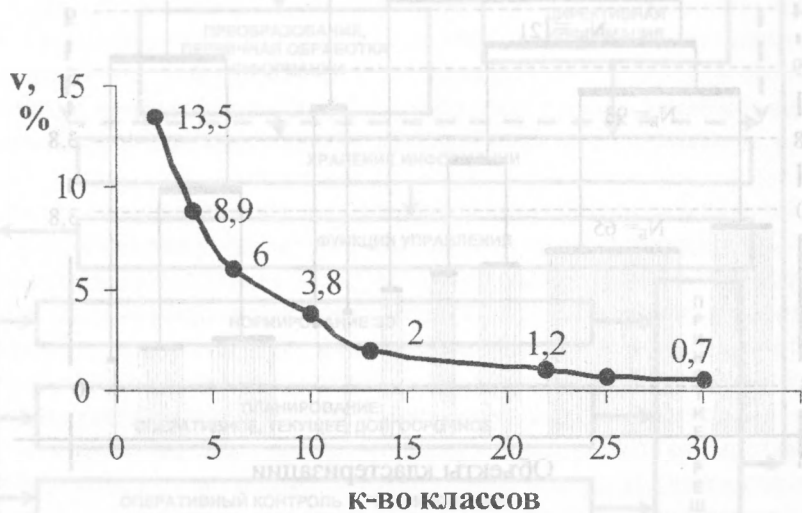
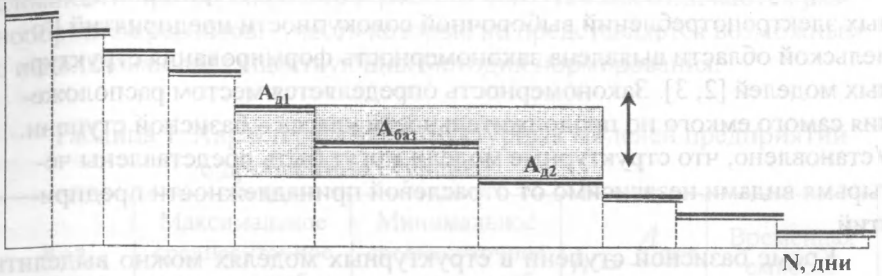


Рис. 3. Обоснование оптимального количества классов

Однако разработанным алгоритмом предусмотрен автоматический выбор количества классов, исходя из заданного коэффициента вариации.

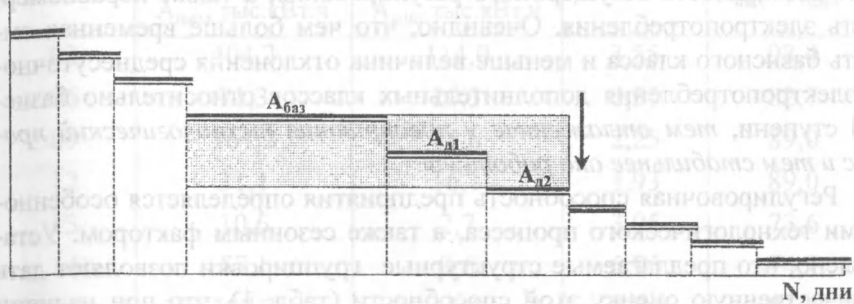
Если по оси ординат откладывать, например, средние значения суточного электропотребления, а по оси абсцисс количество суток, вошедших в каждый класс, то в результате получим структурную модель суточного электропотребления (рис. 4).

A_{Ki} , кВт.ч



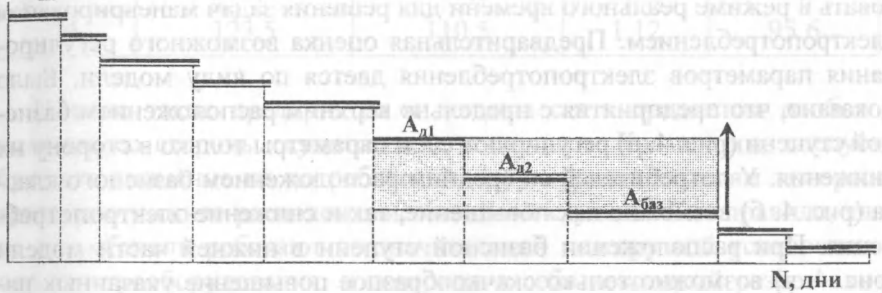
а) модель со средним расположением базисной ступени

A_{Ki} , кВт.ч



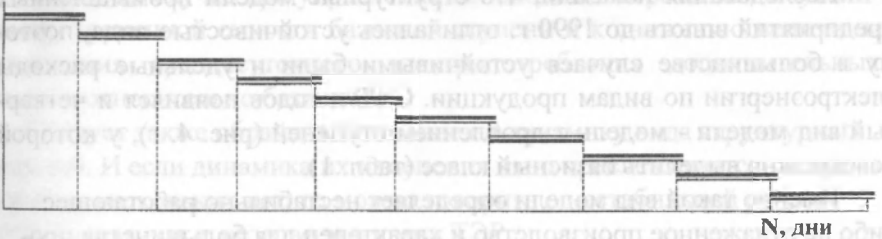
б) модель с верхним расположением базисной ступени

A_{Ki} , кВт.ч



в) модель с нижним расположением базисной ступени;

A_{Ki} , кВт.ч



г) модель с дроблением ступеней

Рис. 4 Характерные виды структурных моделей суточного электропотребления промышленных предприятий

В результате статистических исследований кластеризации суточных электропотреблений выборочной совокупности предприятий Гомельской области выявлена закономерность формирования структурных моделей [2, 3]. Закономерность определяется местом расположения самого емкого по продолжительности класса – базисной ступени. Установлено, что структурные модели могут быть представлены четырьмя видами независимо от отраслевой принадлежности предприятий.

Кроме базисной ступени в структурных моделях можно выделить две-три дополнительные, которые примыкают к базисной. Они определяют возможность безущербного регулирования, а также неравномерность электропотребления. Очевидно, что чем больше временная емкость базисного класса и меньше величина отклонения среднесуточного электропотребления дополнительных классов относительно базисной ступени, *тем отлаженнее у предприятия технологический процесс и тем стабильнее оно работает.*

Регулировочная способность предприятия определяется особенностями технологического процесса, а также сезонным фактором. Установлено, что предлагаемые структурные группировки позволяют дать количественную оценку этой способности (табл. 1), что при наличии систем автоматизированного сбора данных можно оперативно использовать в режиме реального времени для решения задач маневрирования электропотреблением. Предварительная оценка возможного регулирования параметров электропотребления дается по виду модели. Было доказано, что предприятия с предельно верхним расположением базисной ступени (рис. 4. а) регулируют свои параметры только в сторону их снижения. У потребителей со средним расположением базисного класса (рис. 4. б) возможно как повышение, так и снижение электропотребления. При расположении базисной ступени в нижней части модели (рис. 4. в) возможно только скачкообразное повышение указанных параметров на коротких временных интервалах.

Исследования показали, что структурные модели промышленных предприятий вплоть до 1990 г. отличались устойчивостью вида, поэтому в большинстве случаев устойчивыми были и удельные расходы электроэнергии по видам продукции. С 90-х годов появился и четвертый вид модели - модель с дроблением ступеней (рис. 4. г), у которой невозможно выделить базисный класс (табл. 1).

Именно такой вид модели определяет нестабильно работающее либо не отлаженное производство и характерен для большинства промышленных предприятий Гомельской области (около 43 % исследованной выборки). Практика показывает, что такие предприятия имеют

сложности при нормировании расхода ТЭР, так как отличаются разнообразием режимов, учесть которые не представляется возможным с использованием существующих методик нормирования.

Таблица 1. Характеристики структурных моделей предприятий с дроблением ступеней

Код предприятия	Максимальное среднесуточное электропотребление,	Минимальное среднесуточное электропотребление,	$h = \frac{A_{\max}}{A_{\min}}$	Временная емкость границы $N_{\max} - N_{\min}$, %
	A_{\max} , тыс.кВт.ч	A_{\min} , тыс.кВт.ч		
03	404,2	114,0	3,55	93,4
06	71,3	20,3	3,51	82,7
09	161,2	71,6	2,25	89,0
12	31,1	16,1	1,93	89,0
13	10,6	2,7	3,95	73,6
14	57,1	9,6	5,95	74,1
15	198,2	51,6	3,84	81,3
16	309,4	111,8	2,77	82,9
74	123,5	110,5	1,12	95,6

Именно такие предприятия и должны стать предметом особого внимания со стороны аудиторов и технологов. Кроме того, следует обращать внимание на потребителей, структурным моделям которых характерно нижнее расположение базисной ступени. Как правило, такие потребители работают со значительной недогрузкой установленного электрооборудования, и содержат в себе некоторый резерв экономии ТЭР за счет повышения КПД электроприемников.

В любом случае при управлении необходимо стремиться к увеличению временной емкости базисной ступени и к снижению величины отклонения среднесуточного электропотребления дополнительных классов относительно базисного.

Следует также обращать внимание на динамику вида структурных моделей. И если динамика их изменения явно прослеживается на протяжении нескольких лет, то можно говорить о нестабильной работе потребителя, как о резерве экономии ТЭР.

Целесообразность расширения программного обеспечения систем автоматизированного сбора и обработки данных, в частности за счет

оптимизации маневрирования потреблением ТЭР, покажем на примере РУП «Красный Октябрь», г. Речица. В настоящее время функциональные возможности системы автоматизированного учета и контроля электропотребления предприятия ограничены определением параметров графиков электрических нагрузок, которые не отображают всю специфику энергоиспользования, а значит, не могут быть основой для эффективного решения задач управления, направленных на снижение потребления ТЭР. Получаемые данные используются для организации коммерческого учета и формирования статистических отчетностей. При этом, в основном, принимается во внимание лишь информация для 6-го уровня (граница раздела предприятия и энергосистемы) [1]. Такое положение дел характерно практически для всех потребителей, эксплуатирующих автоматизированные системы учета и контроля электропотребления. Вместе с тем предприятие содержит некоторый потенциал энергосбережения, в частности за счет выравнивания графиков электрических нагрузок, оценить который позволяют предлагаемые разработки.

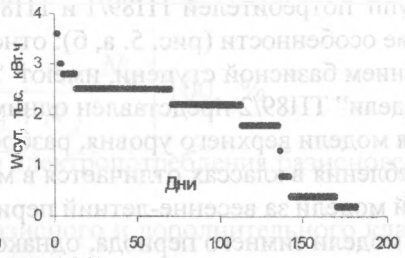
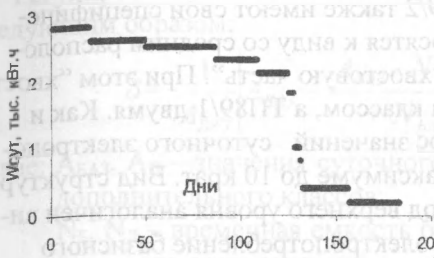
На рис. 5 представлены результаты кластеризации суточного электропотребления предприятия за осенне-зимний и весенне-летний периоды года.

Структурная модель суточного электропотребления предприятия за зимний период 2000 г относится к виду с верхним расположением базисной ступени (рис. 5. г). Базисный класс имеет среднесуточное электропотребление 6.2 тыс. кВт.ч при временной емкости 65 дней. Структурная модель имеет «хвостовую» часть, объединяющую выходные и праздничные дни предприятия. Среднесуточное электропотребление «хвостовой» части составляет 2.1 тыс. кВт.ч при временной емкости 29 дней и 1.7 тыс. кВт.ч при временной емкости 20 дней. Эта часть модели характеризует нижний предел электропотребления предприятия, и не определяется технологией. Данный вид модели характеризует структуру режима электропотребления предприятия в целом, и не отображает особенности функционирования групп потребителей, входящих в ее состав.

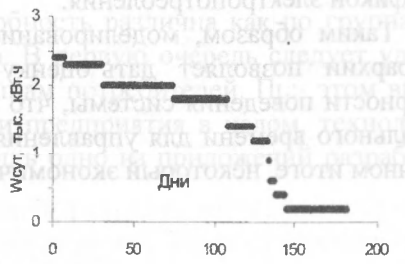
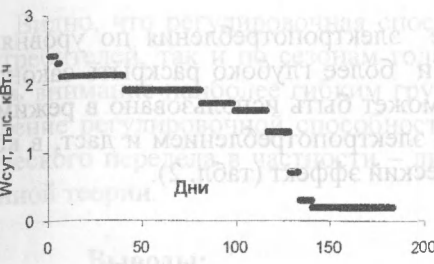
Вместе с тем, модели подуровней системы электроснабжения отличаются от модели верхнего уровня. Рассмотрим модель ТП 107 (рис. 5. в). Данный вид модели относится к виду с дроблением ступеней, характеризуется отсутствием «хвостовой» части и значительным разбросом значений суточного электропотребления по классам (до 10 крат). Вид модели указывает на часто меняющуюся технологическую программу и непрерывный процесс производства. Действительно, от ТП 107 запитаны такие потребители, как котельная, бойлерная, режим

Осенне-зимний период

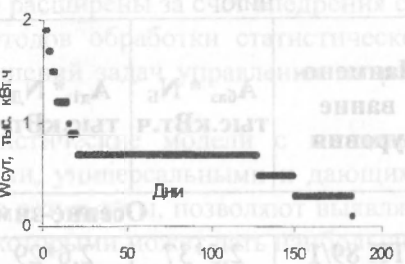
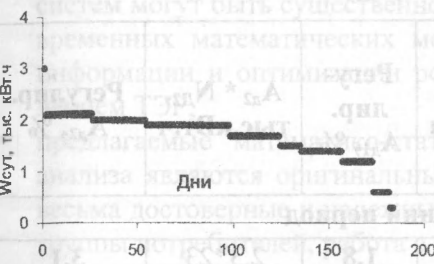
Весенне-летний период



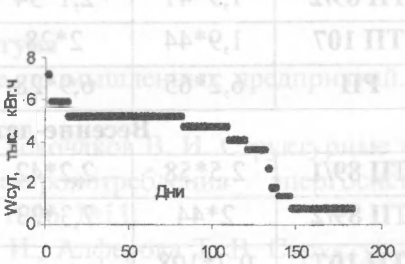
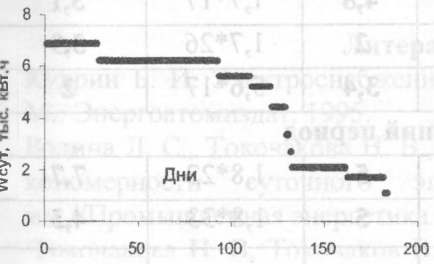
а) ТП 89/1



б) ТП 89/2



в) ТП 107



г) РП

Рис. 5. Структурные модели суточного электропотребления РУП "Красный Октябрь"

которых в зимний период является непрерывным. Структурные модели групп потребителей ТП89/1 и ТП89/2 также имеют свои специфические особенности (рис. 5. а, б): относятся к виду со средним расположением базисной ступени, имеют “хвостовую часть”. При этом “хвост модели” ТП89/2 представлен одним классом, а ТП89/1 двумя. Как и для модели верхнего уровня, разброс значений суточного электропотребления в классах отличается в максимуме до 10 крат. Вид структурной модели за весенне-летний период верхнего уровня аналогичен виду модели зимнего периода, однако электропотребление базисного класса зимнего периода больше на 16%, что объясняется сезонной спецификой электропотребления.

Таким образом, моделирование электропотребления по уровням иерархии позволяет дать оценку и более глубоко раскрыть закономерности поведения системы, что может быть использовано в режиме реального времени для управления электропотреблением и даст, в конечном итоге, некоторый экономический эффект (табл. 2).

Таблица 2. Оценка регулировочной способности по электропотреблению

Наименование уровня	$A_{баз} * N_B$ тыс.кВт.ч	$A_{д1} * N_{д1}$ тыс.кВт.ч	Регулир. $A_{д1}$, %	$A_{д2} * N_{д2}$ тыс.кВт.ч	Регулир. $A_{д2}$, %
Осенне-зимний период					
ТП 89/1	2,5*37	2,6*29	1,8	2,3*23	3,1
ТП 89/2	1,9*41	2,1*34	4,8	1,7*17	3,1
ТП 107	1,9*44	2*28	2	1,7*26	3,9
РП	6,2*65	6,9*28	3,4	5,6*17	2
Весенне-летний период					
ТП 89/1	2,5*58	2,2*42	5	1,8*22	7,7
ТП 89/2	2*44	2,3*23	5	1,8*33	4,3
ТП 107	0,7*108	-	-	-	-
РП	5,2*69	5,9*11	1,9	4,7*27	2,7

Регулировочную способность потребителя предлагается оценить следующим образом:

$$\delta = \frac{1}{A_{БАЗ}} \left| A_{БАЗ} - \frac{A_{БАЗ} \cdot N_{Б} + A_{Д} \cdot N_{Д}}{N_{БАЗ} + N_{Д}} \right| \cdot 100, \%$$

где: $A_{БАЗ}$, $A_{Д}$ – значения суточного электропотребления базисного и дополнительного классов;

$N_{Б}$, $N_{Д}$ – временная емкость базисного и дополнительного классов соответственно.

Видно, что регулировочная способность различна как по группам потребителей, так и по сезонам года. В первую очередь следует уделять внимание наиболее гибким группам потребителей. При этом выявление регулировочной способности предприятия в целом, технологического передела в частности – лишь одно из приложений разработанной теории.

Выводы:

- функциональные возможности информационных измерительных систем могут быть существенно расширены за счет внедрения современных математических методов обработки статистической информации и оптимизации решений задач управления потреблением ТЭР;
- предлагаемые математико-статистические модели с методами анализа являются оригинальными, универсальными и дающими весьма достоверные и надежные результаты, позволяют выявлять группы потребителей, работа с которыми может дать наибольший экономический эффект в области энергосбережения.

Литература

1. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1995.
2. Родина Л. С., Токочакова Н. В., Токочаков В. И. Структурные закономерности суточного электропотребления энергосистемы. // Промышленная энергетика. 1996, №11.
3. Токочакова Н. В., Токочаков В. И., Алферова Т. В. Структурное моделирование суточного электропотребления промышленных предприятий энергосистемы для быстрой оценки потенциала энергосбережения. // Энергоэффективность, 2001, №2.
4. Дж. -О. Ким, Ч. У. Мьюллер и др. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1989.