

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ-РЕГУЛЯТОРОВ МОЩНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

В. П. Розен, канд. техн. наук (НТУУ «КПИ»), Г. В. Курбака, асп. (Черкасский государственный технологический университет)

Розроблено систему класифікації споживачів-регуляторів потужності виробничих систем з урахуванням режиму їх роботи та вимог до автоматизації процесів управління.

Ключові слова: енергозатрати, енергетичний аудит, споживачі-регулятори.

Разработана система классификации потребителей-регуляторов мощности производственных систем с учетом их работ и требований к автоматизации процессов управления.

Ключевые слова: энергозатраты, энергетический аудит, потребители-регуляторы.

System of classification of the power consumers-regulators with account of working conditions and requirements to control flow automation is worked out.

Key words: energy costs, power-engineering audit, consumers-regulators.

Введение. В структуре энергозатрат промышленных предприятий, как правило, 50–70 % составляют затраты на электроэнергию, и предприятия заинтересованы в формировании эффективных режимов электропотребления (РЭП) и повышении конкурентоспособности продукции. Промышленные предприятия являются потребителями электрической энергии и планируют свои режимы, как правило, без учета генерирующих возможностей энергосистем, поэтому напряженность энергобаланса в энергосистеме может возникнуть даже при кратковременном отключении энергоблоков. Поэтому становится очевидной проблема повышения эффективности действующих генерирующих мощностей электростанций. Одним из направлений решения этой проблемы является уплотнение суточных графиков электрической нагрузки (ГЭН) энергосистем.

Анализ последних исследований и публикаций. В последнее время в Украине снизился интерес к проблеме выравнивания графиков нагрузки энергосистем, хотя эта проблема включена в десятку проблем, стоящих перед человечеством. Это связано с переходным периодом в экономике Украины и практически отсутствующим финансированием для решения этой проблемы. Сегодня ее решением занимаются научные школы А. В. Праховника – Национальный технический университет Украины «КПИ» и Г. Г. Пивняка – Национальный горный университет [1–4].

Основные материалы исследования. Опыт проведения энергетических аудитов промышленных предприятий показывает, что многие предприятия являются довольно энергоемкими потребителями, которые можно использовать для изменения режима электропотребления. Управление РЭП производственных систем дает возможность выравнивать графики электрической нагрузки энергосистем, используя потребители-регуляторы (П-Р) мощности.

Потребители-регуляторы мощности – потребители, используемые для регулирования активной мощности с целью уплотнения графика нагрузки энергосистемы [5].

Критерии выравнивания ГЭН энергосистемы имеют следующий вид:

$$J = \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \rightarrow \min, \quad i = \overline{1, n} \quad (1)$$

или

$$J = \sum_{i=1}^n |P_i - \bar{P}| \rightarrow \min, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где P_i – часовая электрическая нагрузка ГЭН энергосистемы; \bar{P} – среднее значение ГЭН; n – количество часов в сутках.

Критерий выравнивания ГЭН (2) используется редко, так как правая часть критерия не является дифференцируемой и при минимизации требует использования специальных методов математического программирования.

Для системного решения задачи управления РЭП необходимо разработать систему классификации П-Р мощности.

Классификация П-Р мощности не претендует на абсолютную полноту и неизменность, поскольку ее можно изменять и дополнять в зависимости от выбранных признаков и детальности группировки и она является развитием классификаций, предложенных в [1, 5].

При работе П-Р мощности в реальном масштабе времени классификационные признаки должны учитывать:

- 1) технические требования к характеристикам и видам ресурсов, поступающих на П-Р мощности;
- 2) требования к системе управления;
- 3) критерии управления.

1. Технические требования должны учитывать такие классификационные признаки:

- количество потребителей-регуляторов;
- параметры потока ресурса на входе и выходе;
- вид заполнения и освобождения потока ресурса на входе и на выходе;
- параметры регулирования производительности.

По количеству потребителей-регуляторов, используемых в основных технологических циклах, потребителей можно разделять на одиночные и совокупные.

Первые могут участвовать в регулировании графика нагрузки только по времени. Вторые же, частично или полностью, могут быть использованы при плавном регулировании графика нагрузки, то есть и по времени, и по мощности.

По параметру потока ресурса на входе и на выходе П-Р мощности можно разделить на:

П-Р мощности, заполнение и освобождение аккумулирующих емкостей которых производится непрерывными потоками (перекачка газообразных, жидких и сыпучих материалов);

П-Р мощности, заполнение и освобождение аккумулирующих емкостей которых производится дискретными потоками – порциями (транспортировка твердых материалов);

П-Р мощности, заполнение и освобождение аккумулирующих емкостей которых производится совокупностью непрерывных и дискретных потоков (транспортировка твердых и сыпучих материалов).

По характеру потоков заполнения и освобождения аккумулирующих емкостей П-Р мощности можно разделить на:

П-Р мощности, потоки заполнения и освобождения аккумулирующих емкостей которых являются детерминированными величинами;

П-Р мощности, потоки заполнения и освобождения аккумулирующих емкостей которых являются стохастическими величинами;

П-Р мощности, потоки заполнения и освобождения аккумулирующих емкостей которых являются совокупностью детерминированных и стохастических потоков. Стохастические потоки в некоторых случаях могут проявлять определенную периодичность (суточную, сезонную или обе сразу).

По параметру регулирования производительности основных потребителей электрической энергии различают:

П-Р мощности с возможностью регулирования производительности в широких пределах;

П-Р мощности, регулирование производительности которых возможно в незначительных пределах;

П-Р мощности, регулирование производительности которых невозможно.

Классификация П-Р мощности по техническим требованиям представлена в табл. 1.

2. Требования к системе управления. П-Р мощности можно разделить:

по виду структурной схемы;

по виду управления.

По виду структурной схемы П-Р мощности можно разделить на:

П-Р мощности с простой структурной схемой, когда контуром управления охвачен один П-Р;

П-Р мощности со сложной структурной схемой, когда контуром управления охвачено несколько П-Р.

Таблица 1. Классификация П-Р мощности по техническим требованиям

Требования	Классификационные признаки	
	1 страта	2 страта
Технические требования к	Количество П-Р мощности	Одиночные П-Р мощности Совокупность П-Р мощности

характеристикам и видам ресурсов, поступающих к П-Р мощности	Параметры потока ресурса на входе и выходе	Непрерывный Дискретный Совокупность непрерывных и дискретных
	Вид заполнения и освобождения потока ресурса на входе и на выходе	Детерминированные Стохастические Совокупность детерминированных и стохастических
	Параметры регулирования производительности	Полное Частичное Невозможность

По виду управления П-Р мощности можно разделить на:

П-Р мощности с плано-оперативным управлением, которое осуществляется по заранее разработанной программе.

П-Р мощности с автоматическим управлением, которое осуществляется в реальном масштабе времени.

Классификация П-Р мощности по требованиям к системе управления представлена в табл. 2.

Таблица 2. Классификация П-Р мощности по требованиям к системе управления

Требования	Классификационные признаки	
	1 страта	2 страта
Требования к системе управления	Структурная схема	Простая Сложная
	Вид управления	Плано-оперативное Автоматическое

3. По критериям управления П-Р мощности можно разделить на:

потребители, регулирование режима электропотребления которых приведет к максимизации прибыли предприятия:

$$\Pi \rightarrow \max;$$

потребители, регулирование режима электропотребления которых, минимизирует потребление электроэнергии в часы максимума и полупика нагрузки:

$$W_{\Pi} \rightarrow \min;$$

потребители, регулирование режима электропотребления которых приведет к снижению потерь электрической энергии в сетях предприятия и энергосистемы:

$$\Delta W \rightarrow \min;$$

потребители, регулирование режима электропотребления которых приведет к минимизации ущерба от их ограничений:

$$Y \rightarrow \min;$$

потребители, регулирование режима электропотребления которых приведет к минимизации риска от нарушения величины ограничения по мощности:

$$R \rightarrow \min.$$

Классификация по критериям управления должна учитывать следующие ограничения:

1) ресурсное ограничение по мощности:

$$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq P_{\text{рес}},$$

где $P_{\text{рес}} = P_{\text{заявл}} - P_{\text{бр}}$; $P_{\text{бр}}$ – нагрузка потребителей, которые не участвуют в регулировании нагрузки энергосистемы.

2) ресурсное ограничение по мощности, задаваемое промышленным предприятием для выполнения ограничения по экологической броне (экологическая броня электроснабжения потребителя – минимальный уровень потребления электрической энергии потребителем (кроме населения), обеспечивающий условия для предотвращения чрезвычайных ситуаций техногенного и естественного характера) [3]:

$$g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq P_{\text{бр.э}};$$

3) ресурсное ограничение по мощности, задаваемое предприятием для выполнения по технологической броне (технологическая броня – наименьшая потребляемая мощность и продолжительность времени, необходимые потребителю для безопасного завершения технологического процесса, после чего может быть произведено отключение соответствующих электроприемников):

$$g_3(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq P_{\text{бр.т}}];$$

4) ресурсное ограничение по мощности, задаваемое предприятием для выполнения по аварийной броне (аварийная броня – минимальный расход электрической энергии (наименьшая мощность), обеспечивающий безопасное для персонала и окружающей среды состояние предприятия с полностью остановленным технологическим процессом):

$$g_4(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq P_{\text{бр.авар}};$$

5) временное ограничение, задаваемое при выполнении технологических процессов промышленного предприятия:

$$g_5(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq T;$$

6) ресурсное ограничение по потреблению электроэнергии, задаваемое энергосистемой и технологиями предприятия:

$$g_6(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq W_{\text{рес}};$$

7) ограничение на риск превышения ресурсных условий:

$$g_7(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq R_{\text{рес}},$$

$x_j \geq 0; j = \overline{1, n}$ – ограничение на положительность.

Классификация П-Р мощности по критериям управления представлена в табл. 3.

Таблица 3. Классификация П-Р мощности по критериям управления

Наименование критерия	Функция цели	Ограничения
Выравнивание графика электрической нагрузки энергосистемы	$J = \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \rightarrow \min,$ $J = \sum_{i=1}^n P_i - \bar{P} \rightarrow \min,$ $i = \overline{1, n},$	$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq P_{\text{рес}}$ $g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq P_{\text{бр.э}}$ $g_3(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq P_{\text{бр.т}}$ $g_4(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq P_{\text{бр.ав}}$
Прибыль предприятия	$\Pi \rightarrow \max$	
Электропотребление	$W_{\Pi} \rightarrow \min$	$g_5(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq T$
Потери электроэнергии в сетях предприятия и энергосистемы	$\Delta W \rightarrow \min$	$g_6(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq W_{\text{рес}}$ $g_7(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq R_{\text{рес}}$
Ущерб от ограничений	$Y \rightarrow \min$	$x_j \geq 0; j = \overline{1, n}$
Риск от нарушения величины ограничения по мощности	$R \rightarrow \min$	

Формулировка задачи выравнивания ГЭН энергосистемы по критериям отличается одна от другой лишь видом экстремума функции цели.

Основные усилия ученых, которые занимались решением поставленной задачи, были направлены на исследования по оценке ущерба от ограничений энергосистемы [5]. Решение этой же задачи с критерием максимизации прибыли не вызывает трудностей, так как функция цели легко находится по отчетным данным производственных систем статистическими методами. Решение задачи с критерием минимизации риска от нарушения величины ограничений по мощности является в настоящее время новым и недостаточно разработанным подходом.

Выводы

Проблема выравнивания графиков нагрузки энергосистем с использованием потребителей-регуляторов мощности связана с необходимостью разработки системы классификации потребителей, что позволяет учесть классификационные признаки при разработке новых видов математических

моделей регулирования нагрузки с учетом режима их работы и требований к автоматизации процесса управления.

1. Праховник А. В., Розен В. П., Дегтярев В. В. Энергосберегающие режимы электропитания горнодобывающих предприятий. – М.: Недра, 1985. – 232 с.

2. Праховник А. В. Управління енерговикористанням: проблеми, завдання та методи вирішення // Управління енерговикористанням: Зб. доповідей / Під ред. А. В. Праховника. – К.: Альянс за збереження енергії, 2001. – С. 169–190.

3. Інструкція про порядок складання акта екологічної, аварійної та технологічної броні електропостачання споживача. – К.: Мінпаливенерго України, 2004. – 16 с.

4. Разумный Ю. Т. Научные основы повышения эффективности регулирования режимов электропотребления при ограничениях электроснабжения угольных шахт: автореф. дис. на соискание науч. степени докт. техн. наук. – Днепропетровск: 1996. – 40 с.

5. Хронов Г. С. Формирование эффективных режимов электропотребления промышленных предприятий. Ч 1. – Екатеринбург: Изд-во УГГА, 1998. – 340 с.

6. Червоный Е. Н. Методы исследования возможностей регулирования электропотребления промышленных предприятий // Электромеханика. – 1988. – № 9. – С. 47–51.