

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧ
СТИМУЛИРОВАНИЯ
ПРИ УПРАВЛЕНИИ
ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ

На этапе формирования и
развития рыночных
отношений в
электроэнергетике особая
роль отводится
стимулированию субъектов
рынка при решении ими задач
рационального управления
нагрузкой и
энергосбережения.

Объективно существуют
интересы ЭЭС и интересы
потребителей.

ЭЭС может влиять на режимы
электропотребления отдельных
потребителей изменением
тарифов за надёжность
электроснабжения, но
возможности эти ограничены.

Цель – побудить потребителя, в первую очередь, крупного промышленного, выполнять регулирование максимума графика нагрузки (своего и ЭЭС) и электропотребления не только в своих интересах, но и в интересах ЭЭС.

Необходимость такого регулирования связана с выравниванием графика нагрузки и определяется уменьшением затрат ЭЭС в условиях возможных дефицитов энергии и мощности, а также при прохождении суточных и сезонных максимумов.

Разработка и исследование
механизмов стимулирования
связаны с задачами
управления поведением
активных элементов (АЭ)
потребителей.

Под АЭ понимаются периодически работающие электроприемники потребителя, сдвиг работы которых во времени не влияет (или оказывает минимально возможное влияние) на ход технологического процесса производства при возмущениях, возникающих со стороны ЭЭС.

АЭ – специальные потребители-регуляторы и объекты, отключение которых может сопровождаться экономическими потерями.

Изучение особенностей функционирования **АЭ** потребителей требует прогноза поведения их при различного рода управляющих воздействиях со стороны ЭЭС.

Очевидно, что неблагоприятное воздействие ЭЭС может быть в той или иной степени нейтрализовано путем учета **структурной, нагрузочной и временно́й избыточности** производственных систем и особенностей АЭ.

Решение такой задачи необходимо:

- для обеспечения оптимальных условий работы потребителей и ЭЭС,
- выполнения договорных условий,
- поддержания минимальных параметров функционирования в аварийных условиях,
- сохранения живучести,
- определения платы за надежность электроснабжения.

Если потребитель из-за
собственных интересов или
нежелания управлять нагрузкой
отклоняется от требуемого ЭЭС
режима электропотребления, то
ЭЭС должна иметь право
применять определенные санкции
(штрафы), уменьшающие
величину ожидаемой прибыли
потребителя.

Если ЭЭС не будет в той или иной степени учитывать интересы потребителя, то, отстаивая свои собственные интересы, он может предпринять действия, противоположные интересам системы (искажение информации о возможностях регулирования нагрузки и потребностях в электроэнергии и мощности).

Недооценка необходимости согласования интересов сторон часто оборачивалась неудачами при реализации намеченных мероприятий и планов как по управлению нагрузкой, так и по энергосбережению.

Задача решается в терминах
***теории контрактов –
построения
взаимосогласованных моделей
обязательств между
заказчиком и исполнителем,
продавцом и покупателем.***

Потребитель обязуется
выполнять требования ЭЭС по
управлению нагрузкой;
ЭЭС по результатам действий
потребителя выплачивает
вознаграждение в виде снижения
тарифных ставок.

Такая зависимость
определяется функцией и
(или) механизмом
стимулирования, который
вырабатывается по
предварительно
согласованным условиям.

Элементы теории

N – множество допустимых в аварийных ситуациях режимов;

$\sigma(y)$ – функция (механизм) стимулирования.

y^* – действие потребителя, сопровождающееся изменением электропотребления.

T – множество возможных режимов функционирования с учетом особенностей технологического процесса.

ЭЭС на множестве N
допустимых в аварийных
ситуациях режимов
определяет функцию
(механизм) стимулирования σ
(y) и сообщает ее
потребителю, имеющему в
своем составе АЭ.

Потребитель выбирает
действие y^* ,
сопровождающееся
изменением
электропотребления в
множестве T ВОЗМОЖНЫХ
режимов функционирования с
учетом особенностей
технологического процесса.

Механизм функционирования
производственной системы
потребителя электроэнергии
представляет собой набор
критериев, функций, правил,
положений,
регламентирующих ее работу
с учетом состава и
особенностей АЭ.

Четко оговаривается, что потребитель должен приложить усилия по выбору **целевой функции** (стратегии своего поведения) – **$f(y)$** и **состояния** – **$P(y^*)$** , являющегося допустимым как по условиям, предложенным ЭЭС, так и по условиям функционирования своего технологического оборудования в разных режимах электроснабжения

Состояние, выбираемое потребителем из условия $\sigma(y)$ действием y , сопровождается затратами – $C(y)$, которые при нулевом его действии $C(0) = 0$ являются возрастающей функцией в зависимости от объема переналадки технологического процесса и возможного изменения выпуска продукции.

По результатам деятельности потребителя в рассматриваемых условиях, ЭЭС получает «доход» – $H(y)$, определяющийся возможностью работы в наиболее рациональном режиме при сложившихся условиях.

$H(y) = 0$, если потребитель не предпринимает никаких действий по управлению нагрузкой.

При выполнении
потребителем условий
договора с ЭЭС он тоже
получает «доход» от
результатов его деятельности.

В зависимости от условий,
предложенных ЭЭС, он
определяется параметрами σ
(y).

Стимулирование действий потребителя по управлению нагрузкой – в различии тарифных ставок за потребляемую электроэнергию и (или) мощность в зависимости от параметров надежности электроснабжения – частоты, длительности и глубины ограничений (отключений) нагрузки.

Задание функции стимулирования

однозначно определяет условия договора (контракта) между ЭЭС и потребителем.

Целевая функция ЭЭС –
разность «дохода» ЭЭС и
затрат из-за снижения
тарифных ставок

$$\Phi(y) = H(y) - \sigma(y). \quad (1)$$

Целевая функция
потребителя – разность
доходов от снижения
тарифных ставок и затрат на
управление режимами
электропотребления

$$f(y) = \sigma(y) - C(y). \quad (2)$$

Функция стимулирования неотрицательна, поскольку отрицательное стимулирование рассматривается как штраф, и ограничена сверху, так как фонд стимулирования (возможности стимулирования) ЭЭС ограничен.

**Цели ЭЭС и потребителя –
максимизация целевых функций**

_(1) и (2).

Однако целевая функция ЭЭС
(1) зависит от действия y^* ,
выбираемого потребителем,
а оно, в свою очередь,
определяется заданной ЭЭС
системой стимулирования $\sigma(y)$.

При выработке договорных условий устанавливается следующий порядок взаимодействия субъектов рыночных отношений:

1. ЭЭС сообщает потребителю $\sigma(y)$;
2. потребитель, зная $\sigma(y)$, выбирает действие y^* , максимизирующее (2);
3. определяются значения целевых функций ЭЭС и потребителя путем проведения расчетов $C(y)$ и $H(y)$.

На момент заключения
договора и принятия решения о
характере управления
нагрузкой

ЭЭС имеет информацию о **(1)** и
(2), а **потребитель** знает еще и
о выбранном ЭЭС по
отношению к нему управлению
 $\sigma(y)$.

Таким образом,
формируется **задача**

СТИМУЛИРОВАНИЯ:

$$H(y^*) - \sigma(y^*) \rightarrow \max, \quad 0 \leq y \leq C$$

$$\sigma(y^*) - C(y^*) \geq \sigma(y) - C(y), \quad \forall y \geq 0;$$

$$\sigma(y^*) - C(y^*) \geq U,$$

(3)

где **C** – максимально возможные затраты потребителя на снижение нагрузки, которые может компенсировать ЭЭС;

U – «доход», который потребитель может получить при отказе от участия в программе ЭЭС по управлению электропотреблением.

В этом случае несмотря на то,
что объем
электропотребления,
величина максимума нагрузки
и соответствующие платы
могут быть изменены, тариф,
устанавливаемый ЭЭС с
учетом надежности
электроснабжения, будет
максимальным.

Если ЭЭС не будет использовать
стимулирования и выберет

$$\sigma(y) = 0,$$

то *потребитель* по (3) выберет

$$y = 0,$$

минимизирующее его

дополнительные затраты

(предпочтет не производить

никаких действий по управлению

нагрузкой).

Максимальное действие ЭЭС

– y_{\max} , которое может побудить выбрать потребителя, определится как разность

$$C(y_{\max}) = C - U. \quad (4)$$

ЭЭС побуждает потребителя выбрать действие

$y < y_{\max}$, используя систему стимулирования

$$C(y) + U, \quad y = y$$

$$\sigma(y) = \begin{cases} C(y) + U, & 0 \leq y \leq y_{\max} \\ 0, & y \neq y \end{cases} \quad (5)$$

На основании (1), подставив (5) в (3), получим

$$\Phi(y) = H(y) - C(y) - U, \quad 0 \leq y \leq y_{\max}. \quad (6)$$

Если стимулирование не производится, ЭЭС использует систему (5), выбирая y , максимизирующий (4).

Рассмотрим пример.

Предположим:

затраты потребителя на управление нагрузкой при выборе действия y определяются как

$$C(y) = y^2;$$

«Доход» ЭЭС от этих действий потребителя

$$H(y) = y;$$

Предельно возможные затраты потребителя на переналадку технологического процесса в условных единицах $C = 4$;

«Доход» потребителя в случае отказа от участия в программе управления нагрузкой $U = 0$.

Из условия (4) получаем

$$y_{\max} = 2,$$

а из (5):

$$y^2, \quad y = \underline{y}$$

$$\sigma(y) = \begin{cases} & 0 \leq \underline{y} \leq 2. \end{cases}$$

(7)

$$0, \quad y \neq \underline{y}$$

В соответствии с (6)

$$\Phi(y) = \underline{y} - \underline{y}^2.$$

(8)

Максимум целевой функции

ЭЭС получаем

дифференцированием **(8)**.

Он достигается при

$$y = y^* = 1/2 \in [0, 2].$$

Целевая функция потребителя (2)

представляется теперь в виде

$$y^2 - \underline{y}, \quad y = \underline{y} = 1/2$$
$$f(y) = \sigma(y) - C(y) = \begin{cases} 0 - y^2, & y \neq \underline{y} = 1/2 \\ 0, & y = 1/2 \end{cases}$$
$$= \begin{cases} -y^2, & y \neq 1/2 \end{cases} \quad (9)$$

Максимум целевой функции потребителя (9) достигается в двух точках: $y = 0$ и $y = 1/2$.

В соответствии с принципом благожелательности из двух действий, одинаково выгодных для потребителя, он выбирает то, которое является наилучшим для ЭЭС, то есть –

$$y^* = 1/2.$$

Таким образом, **система**
стимулирования для
рассматриваемого примера
определяется как

$$\sigma(y) = \begin{cases} 1/4, & y = 1/2; \\ 0, & y \neq 1/2. \end{cases} \quad (10)$$

Анализ функции стимулирования (7) или для конкретных условий (10) показывает, что:

- 1) с ростом дохода ЭЭС растут затраты на стимулирование и ЭЭС становится выгодно побуждать потребителя выбирать большие действия в пределах Y_{max} ;
- 2) с ростом затрат потребителя уменьшаются возможности управления нагрузкой;
- 3) увеличение фонда стимулирования не всегда может приводить к увеличению эффективности механизма

Заключение

Процессы функционирования ЭЭС и потребителей подвержены воздействию большого числа случайных и неопределенных факторов.

Последствия таких воздействий могут выходить и за рамки договорных условий. Обстоятельства могут оказаться чрезвычайно неблагоприятными, и защитой от них могут быть только механизмы страхования.