

**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  $\sigma$   
( $y$ ) 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  $\sigma$

$(y)$ .



**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

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

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

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):

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

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

(7)

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

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.