

Изобретение относится к электротехнике, в частности к стабилизации нагрузки в распределительных электрических сетях и может найти применение на потребительских подстанциях промышленных и горных предприятиях с целью снижения затрат на оплату электроэнергии.

Известен способ организации активного электропотребления. Специально выделяют потребители регуляторы, отключением (или переводом на режим ограниченного потребления) которых осуществляют уменьшение нагрузки в часы максимума. [Головкин П.И. Энергосистема и потребители электрической энергии. - М., Энергия, 1979, с.308],

В соответствии со способом существуют два пути:

а) перемещением времени работы оборудования с часов максимума нагрузки энергосистемы на другие часы суток, если это оборудование имеет кратковременную суточную нагрузку, т.е. без снижения выработки продукции, но с возможными дополнительными издержками.

б) отключением в часы максимума оборудования, работающего по непрерывному режиму в течение суток, т.е. с уменьшением выработки продукции.

Недостатком указанного способа является невозможность минимизации ущерба. Для обеспечения поддержания одного и того же уровня мощности потребовалось бы отключить меньшую суммарную мощность потребителей, если перед отключением предварительно снизить напряжение в сети.

Наиболее близким по технической сущности является способ использования взаимосвязи режима напряжения и мощности в угле нагрузки для управления электропотреблением промышленных предприятий. [Wolf R.F. Voltage reduction really does save energy. - Electrical world, 1979, 192, N 11, p. 46-47].

В известном способе во время максимума нагрузки питание осуществляется пониженным напряжением, что позволяет уменьшить потребление электроэнергии в эти часы в ограниченном количестве из-за невозможности снижения напряжения ниже чем это допускается по ГОСТу, т.е. до 0,9 от номинального значения ($U_{\min} = 0,9 U_H$).

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования способа снижения напряжения в сети, в котором при снижении напряжения осуществляется отключение оборудования в часы максимума, что обеспечивает более глубокое снижение потребляемой мощности и за счет этого возможно больше снизить потребление электроэнергии, что позволит снизить затраты на потребление электроэнергии.

Поставленная задача решается тем, что, в способе снижения затрат на электроэнергию, содержащем снижение напряжения во время максимума нагрузки, согласно изобретению осуществляется отключение оборудования в эти часы. Определяют экстремальные значения потерь и из полученных режимов выбирают режим с минимальным энергопотреблением, при этом устанавливают указанный режим энергопотребления путем оптимальной загрузки, уровня напряжения.

Способ иллюстрируется чертежами, где на фиг.1 представлена функциональная зависимость потребляемой мощности от напряжения сети при: 1) обычной работе объекта; 2) отключения одного потребителя-регулятора; 3) отключении двух потребителей-регуляторов; на фиг.2 - примерные статистические характеристики нагрузки по напряжению в промышленных СЭС для двигателей; 5) асинхронных двигателей; 6) статической нагрузки; на фиг.3 - графики изменения потерь активной мощности в асинхронных двигателях серии А и АО при; $K_3 = 1$ (7), 8) $K_3 = 0,75$, 9) $K_3 = 0,5$; на фиг.4 - зависимость номинального КПД от номинальной мощности на валу асинхронных двигателей серии А и АО.

Способ реализуется следующим образом.

Задается максимальная мощность, выше которой не должно быть текущее значение мощности. Путем изменения питающего напряжения и отключения потребителей более низкой категории (контрольные электроприемники) подбирается оптимальный

режим энергопотребления. Этот режим и устанавливается как рабочий режим при текущих данных. Оптимальный выбор способа управления энергопотреблением позволяет при минимальном ущербе обеспечить в этих условиях нормальную работу энергосистемы.

Согласно постановлению Кабинета Министров № 733 от 21.10.94г., введенного с 23.12.94г. оплата за потребляемую электроэнергию осуществляется по двухставочному тарифу:

$$\text{Ц} \approx a \cdot P_m + b \cdot W \quad (1),$$

где a - стоимость 1 кВт максимально заявленной мощности, $a = 282$ тыс. руб/кВт;

P_m - максимально заявленная мощность;

b - стоимость 1 кВт ч потребляемой электроэнергии, для I группы потребителей (промышленные предприятия мощностью более 700 кВт) $b = 2400$ руб/кВт ч, потребляемая мощность которая превышает максимально-заявленную оплачивается в десятикратном размере.

При разгрузке энергосистемы путем отключения электроустановок потребителей или ограничения отпуска им электроэнергии нарушается нормальный производственный процесс и наносится соответствующий материальный ущерб.

В соответствии с "методикой определения ущерба от нарушения нормального режима энергоснабжения" общий ущерб предприятия $У$ равен разности между стоимостью единицы продукции при нарушении нормального режима $З_{\phi}$ и плановой стоимостью $З$, умноженной на фактический выпуск продукции $П_{\phi}$:

$$\dot{Y} = (Z_{\phi} - Z) P_{\phi} \quad (2) \text{ или}$$

$$Y = \Phi + I_1 \cdot \frac{ДП}{П_n} + ДИ \quad (3),$$

где Φ - плата за фонды;

I_1 - постоянная часть годовых затрат;

$ДИ$ - сокращение выпуска продукции из-за нарушения нормальной работы предприятия;

$П_n$ - плановый выпуск продукции;

$ДИ$ - дополнительные затраты производства, вызванные нарушением нормального энергоснабжения.

Влияние относительно небольших понижений уровня напряжения в промышленной СЭС ($\Delta U < 1 \cdot U_H$), которые предполагается использовать для управления электропотреблением, можно свести к двум основным

моментам;

уменьшению производительности технологического оборудования;

уменьшению величины потребляемой мощности.

Более глубокие ($\Delta U > 3 \cdot U_n$) понижения напряжения могут иметь следствием "лаvinу напряжений" - нарушение статической устойчивости нагрузки, характеризующееся торможением двигателей, прогрессирующим увеличением потребления реактивной мощности и снижением напряжения до 0,3-0,5 U_n .

Глубокие понижения напряжения могут также полностью нарушить нормальную работу некоторого технологического оборудования и освещения, поэтому допускаемые значения отклонений напряжения на зажимах различных приемников регламентируются ГОСТ 13109-67: для приборов рабочего освещения в производственных и общественных зданиях допускаются отклонения напряжения в нормальном режиме в пределах от -2,5 до +5% номинального, для электродвигателей и их пусковых аппаратов от -5 до +10%; для остальных приемников электрической энергии от -5 до +5% а соответствии с ГОСТ 13109-67 отклонения напряжений должны находиться в указанных пределах с интегральной вероятностью 0,95, т.е. допускается кратковременный (не более 5% от общего времени работы оборудования) выход отклонений напряжения за указанные границы. Допустимые значения отклонений напряжения в этом случае регламентируются инструкцией по проектированию силового, и осветительного электрооборудования промышленных предприятий СН 357-77: для электродвигателей и индукционных печей, получающих питание от преобразователей частоты, допускаются отклонения напряжения от +10% до -8 + -10% в нормальных режимах; -10+-12% в аварийных, при этом допускается кратковременная работа оборудования в установившемся режиме при понижении напряжения до 70-80% от U_n ; для сварочных аппаратов допускается длительная работа при понижениях напряжения на 8-10% (возможность более глубоких кратковременных понижений напряжения должна подтвердиться расчетом); для электродуговых печей величина кратковременных отклонений напряжения должна подтверждаться расчетом); для электродуговых печей величина кратковременных отклонений напряжения не лимитируется и ограничивается, в основном, условиями технологического процесса, для газоразрядных ламп всех типов допустимое уменьшение напряжения ограничивается 10% (для ламп накаливания - 12%).

Приведенные нормы позволяют оценить возможный диапазон понижений напряжения при управлении электропотреблением $\Delta U_{\text{тех}}$ как $\Delta U_{\text{тех}} = < 10\% U_n$. Следует отметить, что 10% диапазон принят не только в СНД, но и в ряде других стран: Бельгии, Италии, Канаде, Нидерландах; этот же диапазон рекомендуется МЭК; в некоторых странах допускаются большие понижения напряжения - в Англии - 12%, в Финляндии - 15%.

Конкретные значения $\Delta U_{\text{тех}}$ устанавливаются в результате анализа системы электроснабжения, в которой предполагается введение комплексного управления электропотреблением и режимом напряжения.

Каждый приемник электрической энергии имеет наилучшие технико-экономические показатели при определенном оптимальном напряжении на его зажимах. Отклонение напряжения от оптимального ведет к соответствующему ухудшению технико-экономических показателей приемников.

Мощность, потребляемая в узле нагрузки, в установившемся режиме зависит от напряжения узла U и частоты f в энергосистеме.

Характеристики $P(U)$ и $Q(U)$ при $f = \text{const}$ и $P(f)$ и $Q(f)$ при $U = \text{const}$ называются статическими характеристиками нагрузки по напряжению и частоте. Их вид зависит от. состава нагрузки узла, а также от времени суток и времени года. Как правило статистические характеристики выражаются в относительных единицах (т.е. в нормальном режиме $f = U = P = Q = 1$).

Так как для управления электропотреблением используется относительно небольшие изменения напряжения, статистические характеристики, используемые для оценки реакции системы на уменьшение напряжения, можно аппроксимировать линейными зависимостями вида:

$$P = P_0 + p_u \cdot U \quad U \in (0,9; 1,1) \quad (4)$$

$$Q = Q_0 + q_u \cdot U \quad U \in (0,95; 1,05) \quad (5)$$

где P_0 и Q_0 - некоторые константы;

p_u и q_u - коэффициенты крутизны статических характеристик нагрузки по напряжению, называемые регулируемыми эффектами нагрузки по напряжению.

На фиг.2 качественно показаны статические характеристики нагрузки по напряжению (в окрестностях точки, соответствующей номинальному режиму) для основных групп приемников в промышленных системах электроснабжения - синхронных (4), асинхронных двигателей (5) и статической нагрузки (6). В понятие статической нагрузки включаются все потребители электроэнергии, кроме двигателей:

электропередачи, освещения, значительная часть коммунально-бытовой нагрузки и т.п. - все эти потребители характеризуются значительной крутизной статических характеристик активной нагрузки по напряжению (величины p_u для ряда типичных статических приемников приведены в таблице:

Вид приемника	p_u
Осветительная нагрузка:	
лампы накаливания	
люминесцентные лампы, включаемые	1,6
по схеме с расщепленной фазой	3,75
лампы ДРЛ	1,6
электроотермические установки	2(1)

синхронные двигатели ($p_u = 0$) и асинхронные двигатели.

Асинхронные двигатели являются наиболее распространенным типом приемников электрической энергии на промышленных предприятиях. При изменении напряжения в сети мощность на валу синхронных двигателей остается практически постоянной, изменяются лишь потери активной мощности в двигателе на величину OP , характер зависимости которой от напряжения определяется типом двигателя и коэффициентом его загрузки (фиг.3), при $K_3 = 1$ (7), $K_3 = 0,75$ (8), $K_3 = 0,5$ (9). Как видно из приведенных кривых, абсолютная величина изменения потерь активной мощности относительно невелика. Однако, она соизмерима со значениями потерь в элементах сети, а в ряде случаев, особенно при наличии большого числа маломощных двигателей, характеризующихся значительными потерями активной мощности (фиг.4 (10)), значительно повышает их. Следует отметить также, что в некоторых случаях (если двигатель работает с насыщенной или близкой к насыщению магнитной цепью и относительно небольшим коэффициентом загрузки) изменение намагничивающего тока двигателя при небольших изменениях напряжения могут быть столь велики, что при двигателе оказывается сравним с регулируемыми эффектами - статической нагрузки.

Регулирующий эффект может быть как положительным, так и отрицательным. Различие величин и знака регулирующих эффектов нагрузки говорит о необходимости обоснованного подхода к организации режима напряжения в часы максимума нагрузки энергосистемы; наиболее экономичный с точки зрения потребления активной мощности режим в различных СЭС может соответствовать как пониженному, так и повышенному или номинальному уровню напряжения.

В первом приближении, пренебрегая потерями в распределительной сети, оценки регулирующих эффектов активной нагрузки узлов по напряжению можно получить по выражению:

$$P_u = (P_{ud} \cdot P_d + P_{ucm} \cdot P_{cm}) / (P_d + P_{cm}), \quad (6),$$

где $P_{ud}=0$, $P_{ucm}=1.8$, P_d, P_{cm} — соответственно.

регулирующие эффекты мощности, потребляемые двигателем и статической нагрузкой

В среднем для промышленных предприятий характерны значения P_u , располагающейся в диапазоне $P_u = 0,6 + 0,3$, при 10% уровне понижения напряжения. [Гуревич Ю.Е. и другие. Устойчивость нагрузки электрических систем - М., Энергоиздат, 1982].

В зависимости от предприятий количество контрольных электроприемников может меняться от 2-х до бесконечности.

Рассчитаем экономический эффект на примере ЮГОКа, где максимально заявленная мощность на 8 февраля 1995 г составила $P_m = 200$ МВт, оборудование работает 16 часов в сутки, следовательно за месяц $t = 16 \cdot 30 = 480$ часов. Потребляемая мощность при некоторой работе предприятия составила $P = 150$ МВт. Потребляемая электроэнергия за месяц составила $W = P \cdot t = 150 \cdot 480 = 72000$ МВт ч. Стоимость одной тонны концентрата составляет 2091 руб. Производительность одной секции аглофабрики с 1 по 4 секцию $Q_1 = 150,9$ т/ч, с 9 по 14 секцию - 85,9 т/ч.

Согласно формуле (1) плата за электроэнергию при обычной работе будет равна:

$$\begin{aligned} \text{Ц}_3 &= 282000 \cdot 200 + 2400 \cdot 480 \cdot 150 \\ \text{Ц}_3 &= 229200000 \text{ тыс.руб.} \end{aligned} \quad (7)$$

При снижении напряжения на 10% потребляемая мощность снизится на 19% ($P = 0,81 \cdot P_m$ и составит 121,5 МВт. Заметим, что кроме потребляемой мощности можно снизить максимально-заявленную мощность до $P_m = 125$ МВт (необходимо, чтобы был небольшой запас, при этом оплата за

$$\begin{aligned} \text{Ц}_3 &= 282000 \cdot 125 + 240 \cdot 480 \cdot 121,5 \\ \text{Ц}_3 &= 122730000 \text{ тыс. руб.} \end{aligned} \quad (8)$$

Экономический эффект составит:

$$\begin{aligned} \Delta &= 229200000 - 122730000 = 106470000 \\ \text{тыс. руб.} \end{aligned} \quad (9)$$

или 106047 млрд.руб.

Допустим, что при некоторой работе предприятия потребляемая мощность в сети повысилась на 55 МВт. При этом происходит отключение первой группы контрольных электроприемников. В нашем случае это вторая дробильная фабрика. Затраты будут составлять:

$$\text{Ц} = \text{Ц}_3 + \text{У} \quad (10)$$

При этом ущерб при отключении составит:

$$\begin{aligned} \text{У} &= (150,9 \cdot 4 + 85,9 \cdot 6) \cdot 2091 \cdot 16 \\ \text{У} &= 37437264 \text{ тыс.руб. или } 37,44 \text{ млрд.} \\ \text{руб} \end{aligned} \quad (11)$$

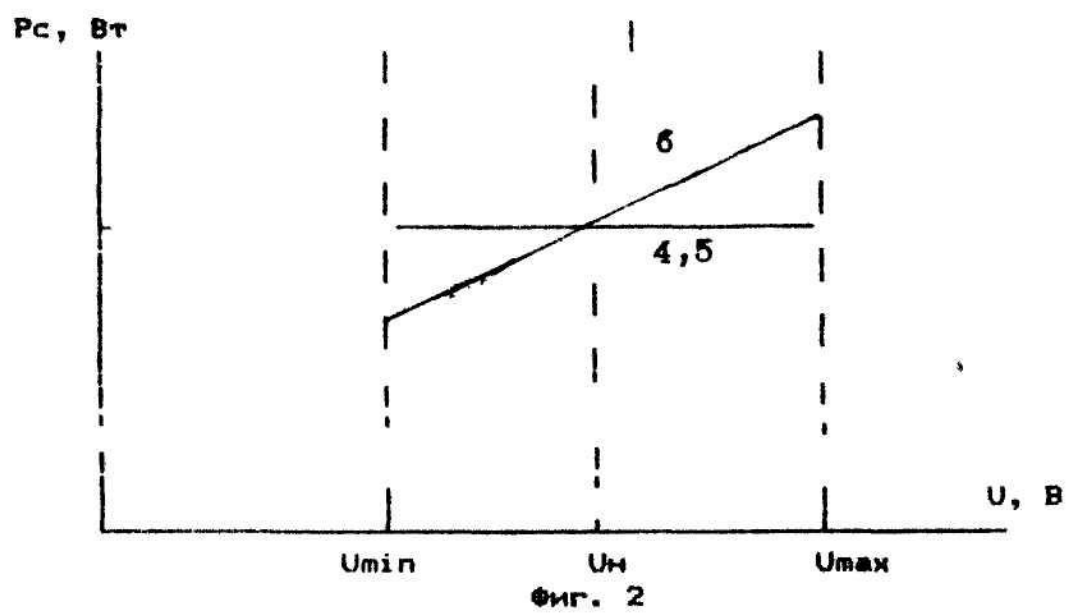
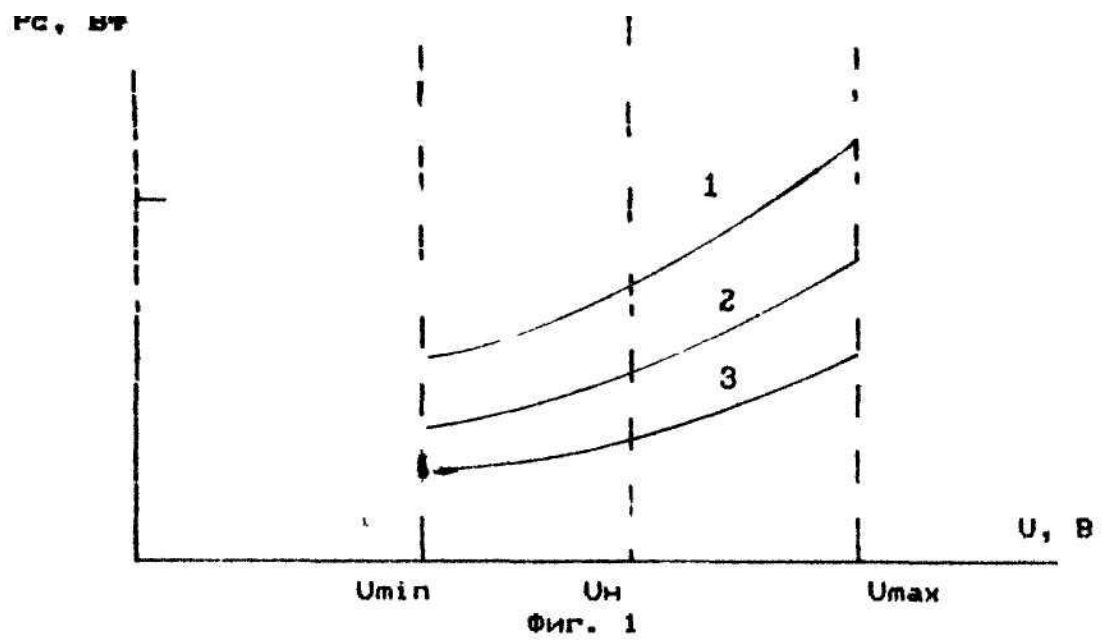
Общая оплата составит $122,73 + 37,44 = 160,17$ млрд.руб.

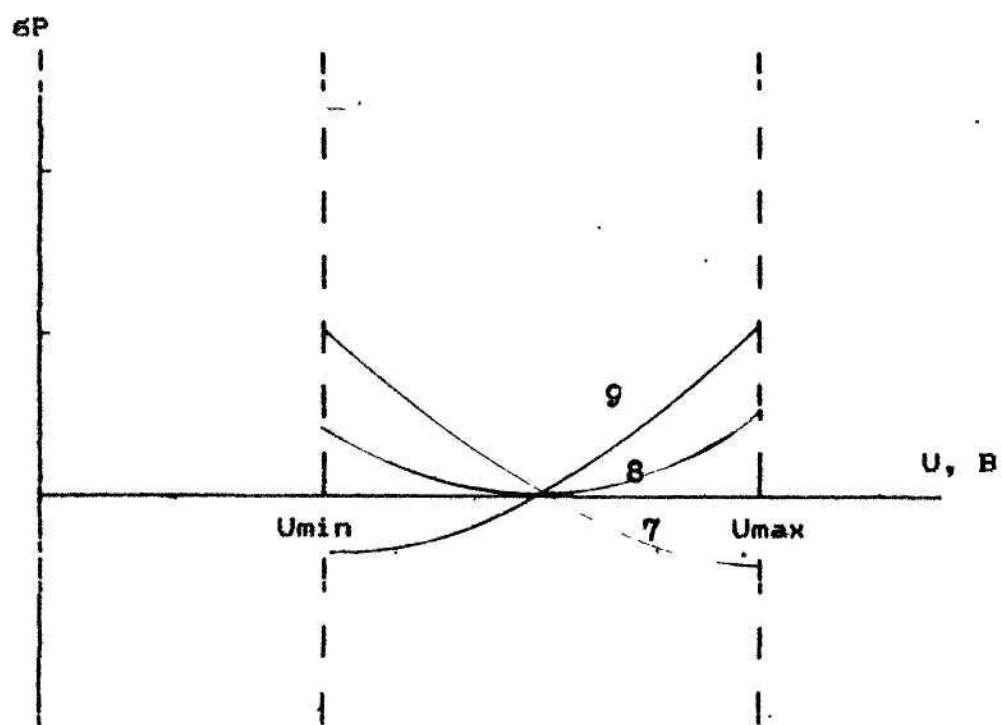
Экономический эффект с учетом ущерба составит:

$$\Delta_y = 229,2 - 160,7 = 69,03 \text{ млрд.руб.} \quad (12)$$

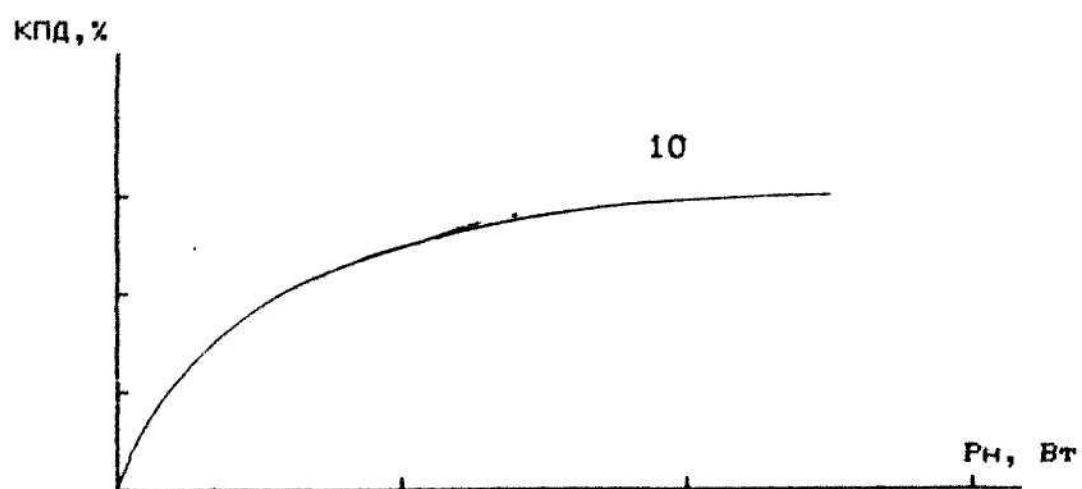
А за год экономический эффект составит:

$$69,03 \cdot 12 = 828,36 \text{ млрд.руб.}$$





Фиг. 3



Фиг. 4