

Приведено определение возможного экономического эффекта, от выравнивания графика электрической нагрузки (ГЭН) объединенной энергетической системы Украины, в том числе за счет бытовых потребителей-регуляторов.

УДК 621.316

А.П. Лазуренко, проф.,
Г.И. Черкашина, аспирант
 Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ВЫРАВНИВАНИЯ ГРАФИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ОЭС УКРАИНЫ

Введение. Рациональное использование энергоресурсов в ТЭК предполагает использование энергосберегающих технологий и экономичный режим работы оборудования на всех стадиях процесса: производства, передачи, распределения электроэнергии, и ее потребления электроприемниками.

Рациональное использование ТЭР в энергоснабжающей части процесса характеризуется главным показателем – удельными приведенными затратами на полезно отпущенный киловатт-час. Этот показатель является интегральным. На него влияют три фактора:

- удельный расход условного топлива на один выработанный кВт·ч.;
- удельный расход электроэнергии на собственные нужды электростанций на один выработанный кВт·ч.;
- удельный расход потерь электроэнергии в электрических сетях на один полезно отпущенный кВт·ч.

Понятно, что для обеспечения экономичной работы необходимо каждый из этих показателей сводить к минимуму. Это является одной из основных функций всех энергоснабжающих организаций. Каждая из таких организаций включена в систему рыночных отношений и заинтересована в снижении этих показателей, так как они снижают себестоимость продаваемого ими товара. В части потребления вопросы рационального использования электроэнергии решаются у потребителя.

Введенные в действие мощности, предназначенные для выработки электроэнергии, должны быть больше, чем мощности, обеспечивающие среднесуточное потребление электроэнергии, и определяться максимальной нагрузкой в часы пик. В противном случае снижение частоты, связанное с увеличением нагрузки, может привести к нарушению устойчивости и развалу системы. Производителю электроэнергии необходимо планировать ввод в действие производственных мощностей в соответствии с ожидаемым спросом по предварительным заявкам потребителей. Избыточные мощности на тепловых и АЭС невозможно выводить на время провалов нагрузки, так как это время несоизмеримо меньше времени запуска их в работу. Время запуска тепловых агрегатов измеряется сутками, а время провалов нагрузки – часами. В эти часы избыточные мощности представляют собой резерв и требуют расхода топлива на поддержание их в режиме готовности к возможному увеличению спроса на электроэнергию. Стоимость производимой электроэнергии оказывается неодинаковой в течение суток. Она зависит от спроса. С уменьшением спроса она возрастает. Такой режим является крайне не экономичным. Решение этой проблемы связано с использованием пиковых станций, в качестве которых используются ГЭС. Однако динамические нагрузки на оборудование этих станций, связанные с частыми пусками и остановами, сильно увеличивают износ и уменьшают срок службы этого оборудования, повышают вероятность выхода из строя. Кроме того, мощность существующих ГЭС недостаточна для покрытия переменной части графиков нагрузок, в связи с чем, в часы провалов приходится изменять нагрузки тепловых агрегатов. Дальнейшее увеличение мощно-

сти АЭС еще больше осложнит проблему перекрытия переменной части графика нагрузки, особенно разгрузку в ночные часы.

Особенности процесса потребления электроэнергии (он неразделим во времени с процессом производства электроэнергии; электроэнергию сложно накапливать и хранить в больших количествах и т.д.) вызывают характерные специфические затраты на строительство и поддержание мощностей, обеспечивающих производство электроэнергии сверх необходимых среднесуточных значений, и требуют затрат на средства регулирования в соответствии с потреблением. Указанные затраты увеличивают себестоимость производства электроэнергии, а ее снижение невозможно без участия потребителей. Именно они определяют суточный график производства электроэнергии, который, как правило, имеет резко выраженный пиковый характер. Его выравнивание позволяет снизить стоимость производства электроэнергии.

Степень равномерности суточного графика нагрузки характеризуется коэффициентом заполнения, K_3 , представляющим собой отношение потребленной электроэнергии к максимальной мощности, умноженной на время, равное 24 часам. Таким образом, себестоимость производства, $C_{пр}$ зависит от коэффициента заполнения суточного графика:

$$C_{пр} = F(K_3) \quad (1)$$

Потребитель своим режимом работы определяет себестоимость покупаемой им же электроэнергии. При $K_3=1$ график нагрузки представляет собой прямую линию, т.е. является идеально равномерным. Влияние потребителя на снижение себестоимости максимально. При K_3 меньше 1 график имеет переменную составляющую. Себестоимость производства электроэнергии увеличивается.

Следует также отметить, что зависимость 1 приобретает особую значимость для потребителя в связи с реформированием рынка ЭЭ Украины и переходом от модели «Единого покупателя» к модели «Двусторонних договоров и балансирующему рынку». Так как функционирование новой модели энергорынка подразумевает прямую зависимость между режимом потребления ЭЭ и ее стоимостью для потребителя.

Даная статья посвящена определению возможного экономического эффекта от выравнивания ГЭН ОЭС, в частности за счет бытовых потребителей-регуляторов.

Для решения поставленной задачи были рассмотрены следующие уровни выравнивания:

1. до уровня, который позволит свести к минимуму необходимость маневрирования блоками тепловых электрических станций (ТЭС), что позволит экономить на платежах за маневренность;
2. до уровня, который исключает необходимость ночного выключения энергоблоков ТЭС на ночь, что позволит экономить на платежах за пуски/остановы блоков;
3. до уровня, который позволит увеличить долю выработки электрической энергии атомными электрическими станциями;
4. до уровня, исключающего необходимость строительства новых ГЭС и ГАЭС.

Расчеты производились на примере данных за 27.10.2008г. [2] .

1. Определение экономического эффекта при сведении к минимуму необходимости маневрирования блоками ТЭС

1.1 .Оптовая цена закупки электрической энергии (ЭЭ)

Согласно «Правилам оптового рынка электрической энергии Украины» [1] оптовая цена закупки 1 кВт*ч ЭЭ для каждого расчетного периода суточного графика, C_p^{OK} , формируется в соответствии со следующей формулой:

$$\Pi_P^{OK} = \frac{\sum_b D_{\text{бр}}^{PM} + \sum_c D_{\text{ср}}^{\text{э}} + \sum_b D_{\text{бр}}^{MH} + \sum_b D_{\text{бр}}^{PO3B}}{\sum_c \mathcal{E}_{\text{ср}}^{\text{фo}}} \quad (2)$$

где $\sum_b D_{\text{бр}}^{MH}$ – плата за маневренность;

$\sum_b D_{\text{бр}}^{PO3B}$ – плата за разгрузку станции ниже минимально допустимого состава оборудования станции;

$\sum_b D_{\text{бр}}^{PM}$ – плата за рабочую мощность блока;

$\sum_c D_{\text{ср}}^{\text{э}}$ – плата электростанции за отпущенную в Оптовый рынок ЭЭ;

$\sum_c \mathcal{E}_{\text{ср}}^{\text{ф}}$ – фактический отпуск электрической энергии станцией.

Формула (2) показывает прямую зависимость между оптовой ценой закупки ЭЭ и платой за маневренность.

Плата за маневренность ($D_{\text{бр}(OEC)}^{MH}$) определяется по следующей формуле:

$$D_{\text{бр}(OEC)}^{MH} = \Pi_{\text{бр}(OEC)}^{MH} \times \Delta P_{\text{бр}}^{\text{фрег}} \times P_{\text{б}}^0 / 100 \quad (3)$$

где $P_{\text{б}}^0$ – коэффициент полезного отпуска блока;

$\Delta P_{\text{бр}}^{\text{фрег}}$ – фактический регулирующий диапазон блока;

$\Pi_{\text{бр}(OEC)}^{MH}$ – цена за маневренность,

$$\Pi_{\text{бр}(OEC)}^{MH} = \frac{K_{\text{max}(OEC)}^{MH} * (D_{(OEC)} - \frac{\sum \Delta P_{\text{бр}(OEC)}^{\text{рег}}}{\text{max}(P_{P(OEC)}^{\text{ПК}}) - P_{P(OEC)}^{\text{ПК}}}) + K_{\text{mix}(OEC)}^{MH} * (\frac{\sum \Delta P_{\text{бр}(OEC)}^{\text{рег}}}{\text{max}(P_{P(OEC)}^{\text{ПК}}) - P_{P(OEC)}^{\text{ПК}}} - C_{(OEC)})}{D_{(OEC)} - C_{(OEC)}} \quad (4)$$

где $(\text{max}(P_{P(OEC)}^{\text{ПК}}) - P_{P(OEC)}^{\text{ПК}})$ – неравномерность графика необходимого покрытия, который определяется как разность между максимальной величиной покрытия на время максимальной нагрузки и величиной покрытия текущего расчетного периода;

$D_{(OEC)}$; $C_{(OEC)}$ – коэффициенты ограничения, которые характеризуют соотношения начально заявленного диапазона регулирования производителями, к неравномерности графика покрытия, на 27.10.2008 $C_{(OEC)} = 0,7$; $D_{(OEC)} = 1,5$ [2];

$\sum \Delta P_{\text{бр}(OEC)}^{\text{рег}}$ – заявленный диапазон регулирования блока;

$K_{\text{max}(OEC)}^{MH}$ и $K_{\text{mix}(OEC)}^{MH}$ – коэффициент маневренности, которые определяют максимальную и минимальную цену за маневренность, утверждаются НКРЕ по представлению Распорядителя системы расчетов, на 27.10.2008 $K_{\text{max}(OEC)}^{MH} = 3$ грн., $K_{\text{mix}(OEC)}^{MH} = 150$ грн [2]

Таким образом, экономический эффект от выравнивания ГЭН можно представить в виде снижения платы за маневренность.

1.2. Определение коэффициента заполнения ГЭН

Для определения K_3 суточного ГЭН воспользуемся данными по оптовым рыночным ценам, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Почасовые оптовые рыночные цены [2]

Часы	27.10.2008					
	ГЦС	ЦРП _{гр(ОЭС)}	ЦРП _{гр(Бу)}	ЦМ(ОЭС)	ЦМ(Бу)	ЦК
1	2	3	4	5	6	7
1	164,78	0	0	150,00	77,91	177,05
2	172,58	0	0	150,00	90,00	181,85
3	172,58	0	0	150,00	90,00	181,42
4	172,58	0	0	150,00	90,00	181,49
5	172,58	0	0	150,00	90,00	181,19
6	205,45	0	0	150,00	90,00	209,96
7	295,00	80,84	36,55	150,00	57,99	405,37
8	295,00	89,16	45,30	136,34	3,00	414,03
9	295,00	103,63	46,84	87,44	3,00	429,94
10	295,00	108,55	46,84	51,82	3,00	555,51
11	295,00	111,59	41,28	23,08	29,90	553,14
12	295,00	105,53	42,59	60,42	20,16	421,39
13	295,00	104,07	41,41	65,06	28,98	419,03
14	295,00	107,02	40,00	42,91	38,50	420,93
15	295,00	113,14	40,00	3,00	38,50	426,50
16	295,00	116,28	40,00	3,00	38,50	428,74
17	295,00	136,38	45,30	3,00	3,00	451,13
18	295,00	151,00	64,06	3,00	3,00	578,60
19	295,00	141,76	66,00	3,00	3,00	567,05
20	295,00	127,76	62,49	3,00	3,00	553,07
21	295,00	114,72	60,79	3,00	3,00	538,25
22	295,00	95,47	46,70	102,41	3,00	405,25
23	295,00	82,25	36,31	134,59	59,17	396,56
24	175,32	00,00	0,00	150,00	68,30	181,00

где ГЦС – граничная цена системы, грн/МВт*ч;

ЦРП – средневзвешенная цена за рабочую мощность, грн/МВт;

ЦМ – цена за маневренность, грн/МВт;

ЦК – цена покупки у ГК ТЭС, грн/МВт*ч)

Почасовым ЦМ (табл.1) соответствует ГЭН, представленный на рис. 1.

Данные по потреблению и покрытию ГЭН в час максимума и минимума ЭС 27.10.2008г представлены в таблице 2.

Коэффициент заполнения ГЭН 27.10.2008:

$$K_3 = W_{сумм} / P_{max} * 24 \tag{5}$$

$$K_3 = 212371/10470 * 24 = 0,845$$

При значении K_3 ГЭН стоимость маневренности по суткам 27.10.2008 ($D_{мн27.10.2008}$) составляет 13832994 грн. или 18% от суточной стоимости ЭЭ ($D_{ээ27.10.2008}$).

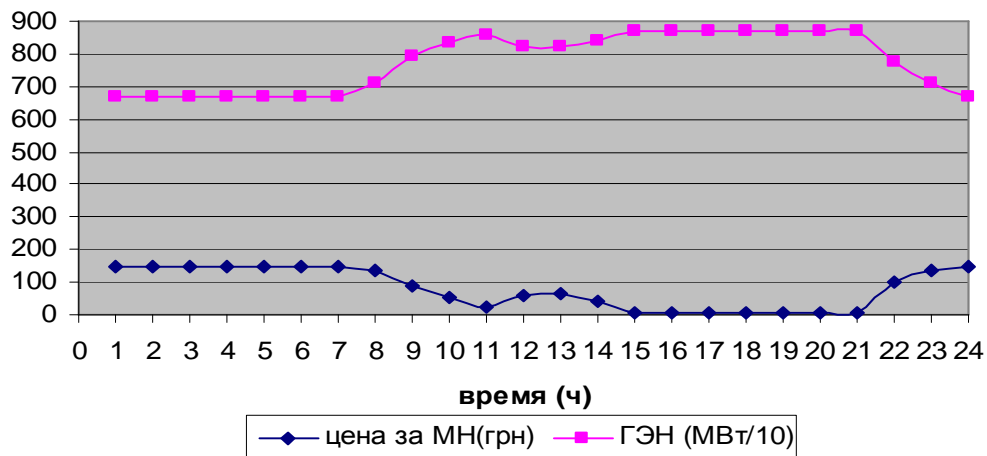


Рис.1 – Динамика изменения почасовых цен за маневренность (ЦМ) для блоков ОЭС и ГЭН на 27.10.2008г.

Таблица 2

Потребление и покрытие ГЭН в час максимума и минимума ЭС 27.10.2008г[2].

	Минимум 04.00	Максимум 18.00
1	2	3
Потребление	16479	24104
Закачка ГАЭС, МВт	307	0
Покрытие, МВт	16842	24767
– АЭС, МВт	9943	10362
– ТЭС, МВт в т.ч.	6807	10470
– ТЭС ГК, МВт	4490	8394
– ТЭС блочные, МВт	573	813
– Промст. и др. ТЭЦ МВт	1244	1263
– ГЭС, МВт	92	3575
– ГАЭС, МВт	0	360
Сальдо внешних перетоков, МВт	- 56	- 663
Количество блоков ТЭС ГК в работе	31,5	47

1.3. Определение экономического эффекта в результате изменения K_3 ГЭН

В данной работе повышение значения K_3 ГЭН осуществляется за счет переноса нагрузки из зоны «максимума потребления» в зону «минимума», что можно реализовать путем косвенного аккумулирования электрической энергии в бытовых энергоустановках [6]. При этом общее суточное потребление ЭЭ остается неизменным.

Оценим потенциальное значение снижения платы за маневренность при увеличении значения K_3 ГЭН. Полученные результаты сведем в таблицу 3.

Таблица 3

Зависимость изменения платы за маневренность от значения K_3 ГЭН

K_3 ГЭН	0,845	0,88	0,9	0,94	0,97	0,99
$D_{\text{мн}27.10.2008}$ (грн/сутки)	13832994	12075622,7	10510839,1	4582964,2	2480779,7	0

Снижение $D_{\text{ми}27.10.2008}$ (грн)	0	1757371,3	3322154,9	9250029,9	11352214,3	1383500
Снижение $D_{\text{ми}27.10.2008}$ (%)	0	12,7	24	66,9	82	96
Снижение $D_{\text{э}27.10.2008}$ (%)	0	2,286	4,32	12,042	14,76	17,28

Физический ресурс бытовой нагрузки, за счет которого можно изменить значение K_3 составляет:

- 1) Электроводонагреватели (ЭВН) накопительного типа – 450 000шт * 1,5 кВт = 675000 кВт = 675 МВт. Время нагрева ЭВН 120 л (суточная норма потребления горячей воды для среднестатистической семьи, состоящей из 3-х человек[7]) – 4,05 часа[8].
- 2) Электротопительные установки (ЭО) – 83,7 МВт (14560 шт.)[9]. Время нагрева помещения зависит от площади помещения, материала его ограждающих конструкций, окон. Для случая среднестатистической семьи, которая с большой вероятностью проживает в 2-х комнатной квартире[7], принимаем время нагрева до температуры 18 °С – 4 часа[10].

Используя ресурс бытовой нагрузки можно повысить K_3 до значения 0,88 и получить снижение суточной стоимости ЭЭ в размере 1757371,29 грн.

На 1 установку приходится экономия в размере 3,78 грн. Время работы установки принимаем 7 часов (время провала нагрузки). Скидка к тарифу установкам, работающим по требованию ЭС, во время «провала» потребления составляет 0,54 грн.

1.4. Оценка возможности исключаяющей необходимость ночного выключения энергоблоков ТЭС

По данным сайта ДП «Энергорынок» ночные отключения энергоблоков производятся. В качестве примера были взяты сутки 03.02.2009. С 24.00 по 06.00 был отключен блок №12 на Старобешевской ТЭС. Непрерывную работу блока можно было обеспечить, включив энергоустановки бытовых потребителей-регуляторов. Экономический эффект от вышеуказанного мероприятия может быть получен в виде снижения платы за пуск блока, которая определяется по следующей формуле:

$$D_{\text{бр}}^n = \sum_{p=1}^{p=T^{\text{с}}} ВП_{\text{бр}} \times Ц_{\text{б}}^n \tag{6}$$

где $ВП_{\text{бр}}$ – признак пуска блока;

$Ц_{\text{б}}^n$ – цена пуска блока, $Ц_{\text{б}}^n = Ц_{\text{б}}^{\text{ynn}} \times B_{\text{б}}^n$

$B_{\text{б}}^n$ - затраты условного топлива на пуск моноблока из соответствующего теплового состояния, т.у.т.

$Ц_{\text{б}}^{\text{ynn}}$ - средневзвешенная цена условного топлива на пуск блока, грн/т.у.т.

Таким образом, исключая необходимости ночного выключения энергоблоков ТЭС, можно получить экономию по оплате за ЭЭ в виде снижения затрат топлива на пуск моноблока из соответствующего теплового состояния.

2. Экономический эффект от увеличения доли выработки ЭЭ АЭС

Для увеличения доли выработки ЭЭ АЭС необходимо увеличить постоянную составляющую ГЭН, что связано с низкой способностью маневрирования АЭС, а также обеспечить дополнительный резерв «регулирующих мощностей», который необходим для

поддержания безопасного режима работы АЭС. Традиционно, системные услуги «регулирования» предоставляются ГЭС, ГАЭС, ГТУ, ПГУ.

Установленная мощность генерирующего оборудования ОЭС Украины на 31 декабря 2008 г. представлена на рис. 2

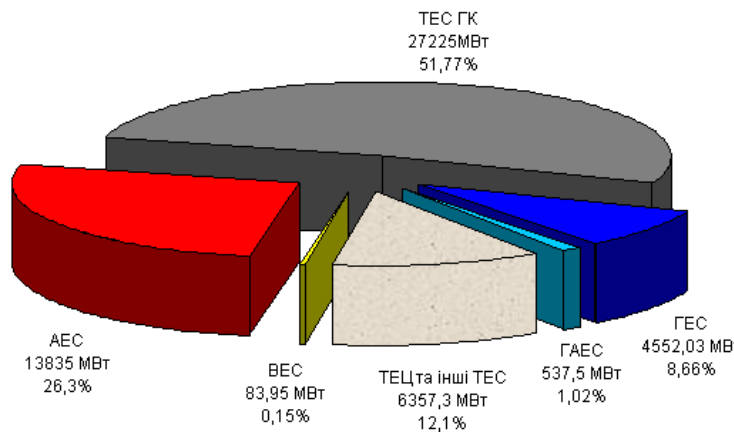


Рис. 2 – Установленная мощность генерирующего оборудования ОЭС Украины на 31 декабря 2008 г.

Для определения экономической эффективности от увеличения доли участия в покрытия ГЭН АЭС рассчитаем коэффициенты использования установленной мощности (K_{III}) каждого вида генерации по суткам 27.10.2009.

$$K_{III} = \frac{\mathcal{E}_{ВЫР1}}{\sum \mathcal{E}_{ВЫР}} \quad (7)$$

где $\mathcal{E}_{ВЫР1}$ – выработанная ЭЭ определенным видом генерации;

$\sum \mathcal{E}_{ВЫР}$ – общая выработка ЭЭ по ЭС.

Данные по выработке ЭЭ 27.10.2008 представлены в таблице 4.

Таблица 4

Данные посуточного потребления и производства ЭЭ по ОЭС Украины[2]

Дата	Потребление Украины, тыс. кВт*ч	Внешние перетоки, тыс. кВт*ч	Генерация, тыс. кВт*ч			
			В общем, по Украине	АЭС	ТЭС	ГЭС
27.10.2008	489 505	-7 613	497 118	254 242	212 371	30 505

Результаты расчетов представим в виде диаграммы (рис.3)

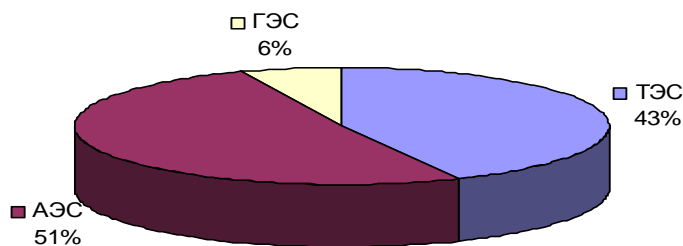


Рис. 3 – Коэффициенты использования установленной мощности ТЭС, АЭС, ГЭС на 27.10.2008г.

Коэффициент использования установленной мощности АЭС на 27.10.2008 – 51%. При повышении K_3 ГН до значения 0,88, можно увеличить долю выработки ЭЭ АЭС на 3,9 %. За рассматриваемые сутки АЭС было произведено 254 242 МВт*ч ЭЭ. Увеличение выработки на 3,9% составит 9915,438 МВт*ч ЭЭ. 1 МВт*ч ЭЭ, выработанной на АЭС стоит 9 коп[3]; на ТЭС – 26 коп (среднее по суткам 27.10.2008). Таким образом, экономия от возможного перераспределения нагрузки между станциями составила 1586,470 тыс. грн. На каждую установку, участвующую в управлении потреблением приходится 3,4 грн. Экономия в оплате за 1 кВт*ч ЭЭ в период регулирования составляет 0,49 грн.

3. Строительство и реконструкция ГЭС, ГАЭС, ПГУ, ГТУ

Как известно, одним из путей решений вопроса увеличения маневренных мощностей в ОЭС Украины, является новое строительство или реконструкция уже существующих ГАЭС, ГЭС, ПГУ и ГТУ[11]. В нашей стране принята и действует программа реконструкции и дальнейшего развития украинской гидроэнергетики[12]. В соответствии с которой к 2010 планируется ввести 1652 МВт дополнительной маневренной мощности.

По прогнозам к 2010 г. мощность бытовых потребителей-регуляторов достигнет 700 МВт[11]. Т.е. полностью исключить необходимость строительства и реконструкции ГЭС, ГАЭС, ПГУ, ГТУ не удастся (при условии, что планы по реконструкции и строительству будут выполнены в срок), однако даже снижение на 40% необходимости ввода в эксплуатацию новых маневренных генерирующих мощностей принесет значительную выгоду в виде экономии затрат на капитальное строительство и реконструкцию, а также уменьшение влияния гидроэнергетических объектов на окружающую среду.

Выводы

Экономия, полученная вследствие выравнивания ГЭН, посредством использования бытовых потребителей-регуляторов может рассматриваться как плата за услуги регулирования и учитываться в тарифе на 1 кВт*ч ЭЭ в виде скидок и надбавок. Так, если рассматривать вариант увеличения доли выработки ЭЭ АЭС, то возможная плата за услуги регулирования бытовым потребителям ЭЭ (С), участвующим в выравнивании суточного ГЭН ОЭС Украины, в период «провала» потребления мощности равна:

$$C = 0,49 - 0,2436 = 0,2464 \text{ грн/час}$$

В случае сведения к минимуму необходимости маневрирования блоками тепловых электрических станций (ТЭС) плата за услуги регулирования составит:

$$C = 0,54 - 0,2436 = 0,2964 \text{ грн/час}$$

Введение скидок и надбавок к тарифу на 1 кВт*ч ЭЭ может служить хорошим экономическим стимулом для появления потребителей-регуляторов в бытовом секторе, при условии наличия соответствующих технических возможностей.

Литература

1. Правила Оптового рынка электроэнергии Украины
2. <http://www.er.gov.ua/>
3. <http://www.nerc.gov.ua/>
4. <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/>
5. Горнштейн В.М. Наивыгоднейшее распределение нагрузок между параллельно работающими электростанциями. Госэнергоиздат Москва 1949 г.
6. Лазуренко А.П., Черкашина Г.И. Аккумулирование энергии в бытовом секторе // Електротехніка та світлотехніка. – 2008. - №4. - С. 57–63.
7. Держкий В.Г., Скиба В.Ф., Чекаленко М.И., Потребление электроэнергии населением // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2008. -№4. – С.23 – 31.

8. Михайлова В.М. Опыт определения нагрузок и расхода электрической энергии при разных условиях электрификации быта городского населения.–М., Стройиздат, 1980. – 88с.
9. Тітенко С.М., к.е.н., Меженій С.Я., к.т.н., Розинський Д.Й., к.т.н. Сучасний стан та перспективи розвитку систем електрообігріву в Україні. //ПРОМЕЛЕКТРО. - 2006.- №2.- С. 3 - 9
10. Пырков В.В. Электрические кабельные системы отопления. Киев 2004.
11. А. Баталов, В. Салимон. Баланс интересов. О проблеме дефицита высокоманевренных регулирующих мощностей в ОЭС Украины // Энергетическая политика Украины.- 2004.-№6.-С.54-57
12. Праховник А.В., д.т.н., Находов В.Ф., к.т.н., Замулко В.Ф., к.т.н. Маневрене електричне навантаження споживачів як засіб «компенсації» зростання нерегульованих генеруючих потужностей атомних енергоблоків. // ПРОМЕЛЕКТРО. - 2006.- №2.- с. 10 – 16.

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТЕНЦІЙНОГО ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ВИРІВНЮВАННЯ ГРАФІКУ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ОЕС УКРАЇНИ

О.П. Лазуренко, Г.І. Черкашина

Наведено визначення можливого економічного ефекту від вирівнювання графіку електричного навантаження об'єднаної енергетичної системи України, у тому числі за рахунок побутових споживачів-регуляторів.

DETERMINATION OF POTENTIAL ECONOMIC EFFECT FROM SMOOTHING OF ELECTRIC LOADING CHART OF UKRAINE IES

A.P. Lazurenko, G.I. Cherkashina

Determination of possible economic effect is resulted, from smoothing of electric loading chart of Ukraine the incorporated power system, including due to domestic users-regulators.