

**ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ  
ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ  
ПРИ ВНЕДРЕНИИ МЕРОПРИЯТИЙ  
ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ**

**Докт. техн. наук, проф. ГРУНТОВИЧ Н. В.<sup>1)</sup>, инж. ШЕНЕЦ Е. Л.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,*

<sup>2)</sup>*ОАО «Газпром трансгаз Беларусь»*

E-mail: gruntovich@tut.by

**INFLUENCE OF CONSUMPTION STRUCTURE  
FOR ENTERPRISE WHILE INTRODUCING  
ENERGY SAVING MEASURES**

**GRUNTOVICH N. V.<sup>1)</sup>, SHENETS E. L.<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Pavel Sukhoi State Technical University of Gomel,*

<sup>2)</sup>*JSC «Gazprom Transgaz Belarus»*

Развитие методов комплексной оценки эффективности мероприятий по энергосбережению может быть основано на использовании однофакторных математических моделей удельного расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) от объема выпуска продукции. Исследованы закономерности формирования результирующей энергоэффективности шинного производства за счет внедрения мероприятий по энергосбережению при учете изменения производственной программы потребителя ТЭР и структуры электропотребления.

**Ключевые слова:** топливно-энергетические ресурсы, структура потребления, энергосбережение.

Ил. 4. Табл. 2. Библиогр.: 4 назв.

Development of methods for complex efficiency evaluation of measures on energy saving can be based on usage of single-factor mathematical models for specific consumption of fuel and power resources by output volume. The paper investigates regularities pertaining to formation of resulting energy efficiency of tire production using introduction of energy saving measures with due account of changes in industrial consumer program on fuel and power resources and power consumption structure.

**Keywords:** fuel and power resources, consumption structure, power saving.

Fig. 4. Tab. 2. Ref.: 4 titles.

**Введение.** Республика Беларусь относится к странам, которые не имеют в достаточном количестве топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Однако опыт отдельных государств, таких как Бельгия, Швейцария, Дания, Япония и других, показывает, что их экономики эффективно развиваются благодаря политике энергосбережения и внедрения энергоэффективных технологий.

Экономия и бережливость стали основными факторами в обеспечении энергетической безопасности Республики Беларусь [1, 2]. В планомерном проведении политики энергосбережения слабым звеном является научно-методическое сопровождение. И как результат этого – фактический эффект

от внедренных мероприятий по энергосбережению гораздо ниже плановых значений (при обосновании мероприятий и составлении программы по энергосбережению), а то и вовсе не достигается. Часто энергоаудиторам поступают нарекания, что энергоэффективность (ЭЭФ) мероприятий искусственно завышается либо методы оценки тех или иных мероприятий неверны. Причина в следующем: при оценке эффективности от внедрения того или иного мероприятия не используются подходы, которые бы позволяли оценить изменение состояния всей технической системы в целом, а именно так должен рассматриваться любой потребитель ТЭР с позиций системного анализа – техническая система со своими закономерностями функционирования и развития [3]. Используемые на сегодняшний день методы текущей и прогнозной оценок ЭЭФ рассматривают потребителя ТЭР с позиций его отдельных элементов и составляющих (двигатель, технологическая установка, технологический аппарат). Эти методы верны с точки зрения отдельных элементов, но они не работают, когда необходимо оценить, как изменится ЭЭФ всей технической системы в целом, рассчитать прогрессивные нормы расхода электроэнергии (ЭЭ). При этом не учитывается ни возможное изменение состояния самой технологической системы (изменение объема выпуска продукции), ни структура потребляемого энергоресурса (соотношение технологической составляющей расхода ТЭР и условно-постоянной составляющей) [4].

**Мероприятия по энергосбережению.** Рассмотрим, как изменение состояния потребителя ТЭР (изменение производственной программы) и структура потребления ЭЭ влияют на формирование результирующей ЭЭФ на примере шинного производства. Законом об энергосбережении [1] показателями ЭЭФ определена научно обоснованная абсолютная или удельная величина потребления ТЭР на производство единицы продукции, установленная нормативными документами. Удельные расходы ТЭР на выпуск продукции необходимы для расчета энергетической составляющей затрат в структуре себестоимости продукции (работ, услуг) и используются для оценки ЭЭФ конкретного вида продукции (работ, услуг) у производителя.

Удельный расход ЭЭ потребителя ТЭР за  $i$ -е сутки  $W_{уд,i}$ , кВт·ч/ед. прод., на выпуск продукции определяется как

$$W_{уд,i} = \frac{W_{\Phi_i}}{\Pi_i} = \frac{W_{\text{техн}} \Pi_i + W_{\text{пост}}}{\Pi_i} = W_{\text{техн}} + \frac{W_{\text{пост}}}{\Pi_i}, \quad (1)$$

где  $W_{\text{техн}}$  – технологическая составляющая удельного расхода ЭЭ на выпуск продукции, кВт·ч/ед. прод.;  $W_{\text{пост}}$  – условно-постоянная составляющая расхода ЭЭ на выпуск продукции, не зависящая от объемов производства продукции, кВт·ч/сут.;  $\Pi_i$  – суточный объем выпуска продукции, ед. прод./сут.

Далее расчеты приведены с учетом производства продукции в условных единицах (у. е.).

Очевидно, что модель зависимости удельного расхода ЭЭ от объема выпуска продукции будет иметь гиперболический вид (рис. 1). Именно наличие условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ, не зависящей от

объема выпуска продукции, обуславливает вариацию производственного удельного расхода ЭЭ от 150 до 350 кВт·ч/у. е. при изменении объема выпуска продукции от 10000 до 60000 у. е.

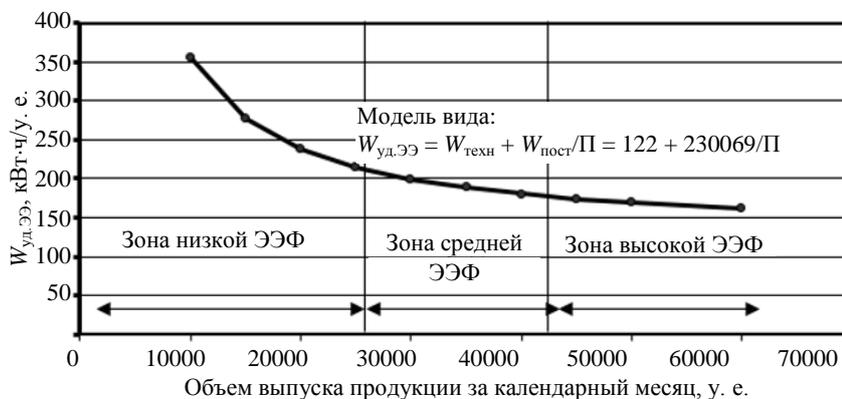


Рис. 1. Однофакторная модель удельного расхода ЭЭ шинного производства от выпуска продукции за календарный месяц с выделением зон энергетической эффективности

Однофакторная статистическая модель удельного расхода электроэнергии (УРЭ) может быть построена с использованием суточной статистики по режимам потребления ЭЭ и фактическим объемам выпуска продукции (загрузка производства). Область применения таких моделей не ограничивается задачей нормирования расхода ТЭР. С использованием модели можно решать следующие задачи:

- выполнять анализ энергоэффективности существующих режимов производства;
- рассчитывать плановую потребность ЭЭ в условиях изменяющейся производственной программы;
- оценивать потенциал улучшения ЭЭФ за счет повышения загрузки технологического оборудования и наращивания объемов выпуска продукции;
- оценивать эффективность от внедрения энергосберегающих мероприятий при любой загрузке технологического оборудования.

В зависимости от значений УРЭ можно выделить три зоны загрузки технологического оборудования: высокой, низкой и средней эффективности (рис. 1) [4].

Зона низкой эффективности (загрузка технологического оборудования менее 30 %) характеризуется значительными изменениями УРЭ при незначительных изменениях объема производства продукции. Зона средней эффективности (загрузка технологического оборудования от 30 до 70 %) соответствует средним загрузкам технологического оборудования. Зона высокой эффективности (загрузка технологического оборудования более 70 %) характеризуется незначительными изменениями УРЭ при значительных изменениях объемов производства продукции.

Для рассматриваемого шинного производства разработана однофакторная модель УРЭ от объема выпуска продукции за календарный месяц следующего вида:

$$W_{\text{уд.}\text{ЭЭ}} = W_{\text{техн}} + W_{\text{пост}}/\Pi = 122 + 2330069/\Pi, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{у. е.},$$

где  $W_{\text{техн}}$  – технологический удельный расход ЭЭ,  $W_{\text{техн}} = 122$  кВт·ч/у. е.;  $W_{\text{пост}}$  – условно-постоянная составляющая расхода ЭЭ за месяц,  $W_{\text{пост}} = 2330069$  кВт·ч;  $\Pi$  – объем выпуска продукции за календарный месяц, у. е.

Потенциал роста ЭЭФ за счет повышения загрузки технологического оборудования оценивается путем сравнения максимального и минимального значений УРЭ крайних величин объема выпуска продукции по формуле

$$\Delta\text{ЭЭФ} = (W_{\text{уд.}\text{ЭЭ,макс}} - W_{\text{уд.}\text{ЭЭ,мин}})/W_{\text{уд.}\text{ЭЭ,мин}} = (355 - 160,8)/160,8 = 120,8 \text{ \%}.$$

Выделенные зоны энергетической эффективности по загрузке технологического оборудования позволяют не только оценивать эффективность использования ЭЭ, но и выявлять приоритетные направления улучшения ЭЭФ в зависимости от существующего объема выпуска продукции. Для этого необходимо уметь оценить ЭЭФ промышленных предприятий в условиях воздействия как на его условно-постоянную составляющую ЭЭ, так и на технологическую составляющую расхода.

При внедрении мероприятий по энергосбережению технологическая и условно-постоянная составляющие расхода ЭЭ будут изменяться. Соответственно им будут изменяться и значения УРЭ при соответствующей загрузке технологического оборудования. Параметры модели зависимости УРЭ от выпуска продукции тоже поменяются. При этом эффективность одного и того же мероприятия по энергосбережению при разной загрузке производства будет различна.

*Пример 1.* Рассмотрим случай, когда разработанные мероприятия по энергосбережению воздействуют на условно-постоянную расхода ЭЭ. Оценим эффективность внедрения мероприятий, направленных на снижение условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ в размере 466014 кВт·ч. Модель общепроизводственного УРЭ будет скорректирована по условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ и примет вид

$$W_{\text{уд}} = 122 + (2330069 - 466014)/\Pi = 122 + 1864055/\Pi, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{у. е.}$$

Значения УРЭ при исходных данных структуры расхода ЭЭ и вариации месячного объема выпуска продукции от 10000 до 60000 у. е. и после внедрения мероприятий, воздействующих на условно-постоянную расхода ЭЭ, а также изменение ЭЭФ при соответствующих объемах выпуска продукции представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, внедрение мероприятий, обеспечивающих снижение условно-постоянной расхода ЭЭ на 466014 кВт·ч/мес. (20 % от ее исходного значения), могут обеспечить снижение УРЭ от 13,1 до 4,8 % в зависимости от производственной программы производства. Максимальный эффект снижения УРЭ (13,1 %) достигается при низкой загрузке технологического оборудования за месяц – 10000 у. е. Минимальный эффект снижения УРЭ составляет 4,8 % при максимальной загрузке технологического оборудования за месяц – 60000 у. е. Отношение максимального значения к минимальному значению эффекта от внедрения мероприятий, снижающих условно-постоянную расхода ЭЭ, достигает 2,7.

Таблица 1

## Значения общезаводских удельных расходов ЭЭ до и после внедрения мероприятий

Объем выпуска продукции П, у. е.	Значение общепроизводственного УРЭ, кВт·ч/у. е.		Изменение ЭЭФ, %, $\Delta \text{ЭЭФ} = ((W_{\text{уд.2}} - W_{\text{уд.1}})/W_{\text{уд.1}}) \cdot 100 \%$
	$W_{\text{уд.1}}$ , по исходной модели	$W_{\text{уд.2}}$ , по скорректированной модели	
10000	355,0	308,4	-13,1
15000	277,3	246,3	-11,2
20000	238,5	215,2	-9,8
25000	215,2	196,6	-8,7
30000	199,7	184,1	-7,8
35000	188,6	175,3	-7,1
40000	180,3	168,6	-6,5
45000	173,8	163,4	-6,0
50000	168,6	159,3	-5,5
60000	160,8	153,1	-4,8

Это означает, что эффект от мероприятий, направленных на снижение условно-постоянной расхода ЭЭ, усиливается в области низкой и снижается в области высокой загрузки производственных мощностей, где в меньшей степени сказывается влияние условно-постоянной расхода ЭЭ на величину общепроизводственного УРЭ.

Исходная и скорректированная модели зависимости  $W_{\text{уд.ЭЭ}} = f(\Pi)$  по условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ представлены на рис. 2.

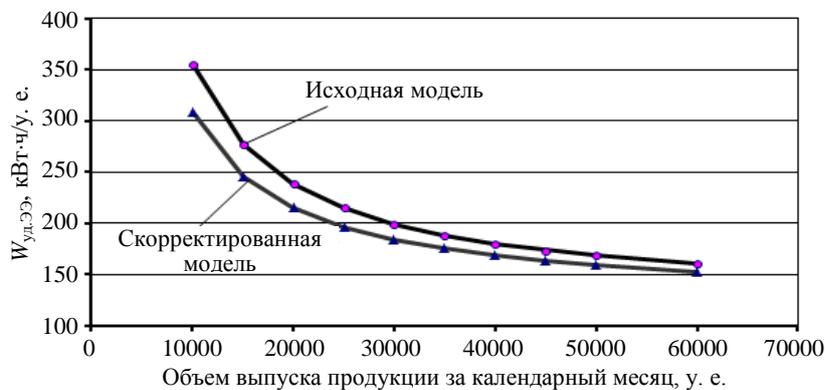


Рис. 2. Модели общепроизводственного УРЭ шинного производства до и после внедрения мероприятий, снижающих условно-постоянную составляющую расхода ЭЭ

*Пример 2.* Рассмотрим случай, когда разработанные мероприятия по энергосбережению воздействуют на технологическую составляющую расхода ЭЭ. Оценим, как изменяется эффективность от внедрения мероприятий, направленных на снижение технологического удельного расхода ЭЭ, на 10 % в условиях изменения объемов выпуска продукции шинного производства в диапазоне от 10000 до 60000 у. е.

Модель общепроизводственного удельного расхода ЭЭ будет скорректирована по технологическому УРЭ и примет вид

$$W_{уд.ЭЭ} = (122 - 12,2) + 2330069/\Pi = 109,8 + 2330069/\Pi, \text{ кВт}\cdot\text{ч/у. е.}$$

Производственные значения УРЭ при изменении объемов выпуска продукции от 10000 до 60000 у. е. в месяц до и после внедрения мероприятий по энергосбережению, воздействующих на технологическую составляющую расхода ЭЭ, а также изменение ЭЭФ при соответствующих объемах выпуска продукции представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Значения УРЭ до и после внедрения мероприятий, воздействующих на технологическую составляющую расхода ЭЭ**

Объем выпуска продукции П, у. е.	Значение общепроизводственного УРЭ, кВт·ч/у. е.		Изменение ЭЭФ, %, $\Delta\text{ЭЭФ} = ((W_{уд.3} - W_{уд.1})/W_{уд.1}) \cdot 100 \%$
	$W_{уд.1}$ , по исходной модели	$W_{уд.3}$ , по скорректированной модели	
10000	355,0	343,0	-3,4
15000	277,3	265,3	-4,3
20000	238,5	226,5	-5,0
25000	215,2	203,2	-5,6
30000	199,7	187,7	-6,0
35000	188,6	176,6	-6,4
40000	180,3	168,3	-6,7
45000	173,8	161,8	-6,9
50000	168,6	156,6	-7,1
60000	160,8	148,8	-7,5

Как видно из табл. 2, эффективность мероприятий, снижающих на 10 % величину технологического УРЭ, в максимуме составляет (-7,5) % (максимальная загрузка технологического оборудования с объемом выпуска продукции за календарный месяц 60000 у. е.), а в минимуме - (-3,4) % (минимальная загрузка технологического оборудования с объемом выпуска продукции за календарный месяц 10000 у. е.). Это означает, что эффект от одних и тех же мероприятий, направленных на снижение технологической составляющей расхода ЭЭ, усиливается в области высокой и снижается в области низкой загрузок оборудования, где в большей степени сказывается влияние условно-постоянной расхода ЭЭ на величину общепроизводственного УРЭ.

Исходная и скорректированная зависимости общепроизводственного УРЭ  $W_{уд.ЭЭ} = f(\Pi)$  по технологической составляющей расхода ЭЭ представлены на рис. 3.

Произведем сравнительный анализ изменения ЭЭФ от технологических мероприятий и мероприятий, направленных на снижение условно-постоян-

ной составляющей расхода ЭЭ. На рис. 4 приведены исходная модель, модель (M1) при внедрении мероприятий, воздействующих на условно-постоянную составляющую расхода ЭЭ, и модель при внедрении технологических мероприятий (M2).

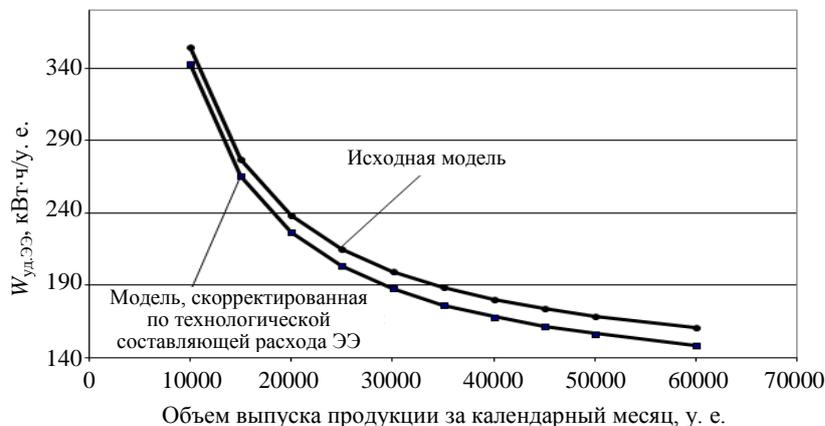


Рис. 3. Модели общепроизводственного УРЭ шинного производства до и после внедрения мероприятий, снижающих технологическую составляющую расхода ЭЭ

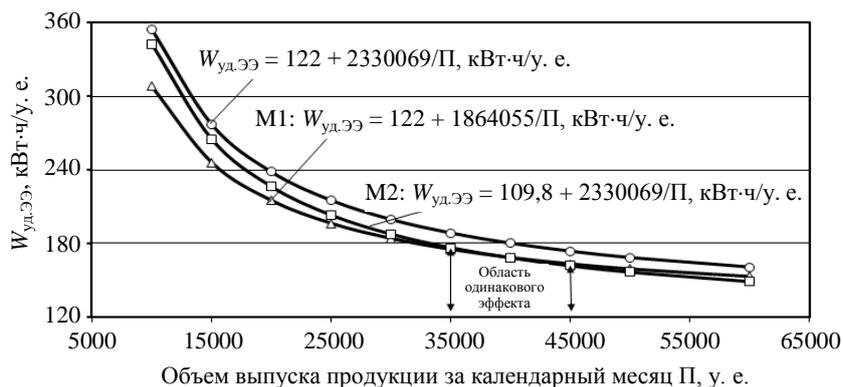


Рис. 4. Модели общепроизводственного УРЭ шинного производства до внедрения мероприятий, снижающих условно-постоянную расхода ЭЭ (M1) и технологическую составляющую расхода ЭЭ (M2)

Как видно из рис. 4, для шинного производства может быть выделена область технологической загрузки оборудования (объема выпуска продукции), в которой эффект от мероприятий, как технологических, так и воздействующих на условно-постоянную расхода ЭЭ, практически одинаков. Для шинного производства нижняя граница области составляет 35000 у. е., верхняя – 45000 у. е. Таким образом, выделенная область объема выпуска продукции составляет 20 % от общей вариации ее производства в течение месяца. При месячном объеме выпуска продукции 35000 у. е. рост ЭЭФ составляет 7,1 % для мероприятий, воздействующих на условно-постоянную расхода ЭЭ, и до 6,4 % – для технологических мероприятий по энергосбережению. Значение УРЭ при данном объеме выпуска продукции составит

175,3 кВт·ч/у. е. для мероприятий, обеспечивающих снижение условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ, и 176,6 кВт·ч/у. е. – для технологических мероприятий. При объеме выпуска продукции за календарный месяц 45000 у. е. изменение ЭЭФ производства составляет 6,0 % для мероприятий, воздействующих на условно-постоянную расхода ЭЭ, и до 6,9 % – для технологических мероприятий по энергосбережению. Значение УРЭ при данном объеме выпуска продукции составит 163,4 кВт·ч/у. е. для мероприятий, обеспечивающих снижение условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ, и 161,8 кВт·ч/у. е. – для технологических мероприятий. Для принятия решения о внедрении технологических мероприятий либо мероприятий, снижающих условно-постоянную расхода ЭЭ, в области одинакового эффекта требуется сравнение затрат каждой группы мероприятий.

### ВЫВОДЫ

1. Для повышения качества прогнозирования значений удельного расхода электроэнергии при внедрении мероприятий по энергосбережению необходимо разрабатывать методы, позволяющие оценивать результирующую энергоэффективность потребителей топливно-энергетических ресурсов, а не отдельных его элементов, структурных единиц. Проведенные исследования показали, что основными факторами, влияющими на формирование результирующей энергоэффективности, являются изменение производственной программы потребителя топливно-энергетических ресурсов и структура потребления электроэнергии (соотношение технологического расхода электроэнергии и условно-постоянной составляющей общего расхода электроэнергии).

2. Одно и то же мероприятие по энергосбережению в зависимости от загрузки производства промышленных предприятий дает различный эффект, оцениваемый по снижению удельного расхода электроэнергии при одних и тех же объемах выпуска продукции.

3. Установлено, что энергосберегающие мероприятия, направленные на снижение условно-постоянной расхода электроэнергии, дают максимальный эффект в условиях низких объемов выпуска продукции. Энергосберегающие мероприятия, снижающие технологическую составляющую расхода электроэнергии, обеспечивают максимальный эффект в условиях максимальной производительности производства.

4. При работе производства в условиях высокой загрузки влияние условно-постоянной составляющей расхода электроэнергии на величину удельного расхода снижается, а значит, снижается и эффективность мероприятий, уменьшающих условно-постоянную составляющую расхода электроэнергии.

5. Технологические мероприятия и мероприятия, снижающие условно-постоянную расхода электроэнергии, могут обеспечивать одинаковый эффект в некотором диапазоне технологической загрузки производства. В этой области основным критерием внедрения тех либо иных мероприятий являются денежные затраты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. О б э н е р г о с б е р е ж е н и и: Закон Респ. Беларусь // Энергоэффективность. – 1998. – № 7. – С. 2–5.
2. О б у т в е р ж д е н и и концепции энергетической безопасности и повышения энергетической независимости Республики Беларусь и государственной комплексной программы модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006–2010 годах: Указ Президента Респ. Беларусь от 25 авг. 2005 г. № 399 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2005. – № 137. – С. 13.
3. П е р е г у д о в, Ф. И. Введение в системный анализ: учеб. пособие для вузов / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – М.: Высш. шк., 1989. – 367 с.
4. Т о к о ч а к о в а, Н. В. Методология оценки энергоэффективности транспорта нефти на основе моделирования электропотребления: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Н. В. Токочакова; Белорус. национ. техн. ун-т, Гомельский гос. техн. ун-т имени П. О. Сухого. – Минск; Гомель, 2007. – 44 с.

## REFERENCES

1. O n E n e r g y Saving: Law of the Republic of Belarus. *Energoeffektivnost [Power Efficiency]*, 1998, 7, 2–5.
2. O n a p p r o v a l of Concept of Energy Security and Greater Energy Independence of the Republic of Belarus and State Complex Programme of Modernization of Basic Production Assets of the Belarusian Energy System, Energy Efficiency and Increasing the Share of the Country's Own Fuel and Energy Resources for the Period of 2006–2010. Decree of the President of the Republic of Belarus dated August 25, 2005. No 399. *Natsional'nyi Reestr Pravovykh Aktov Respubliki Belarus' [National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus]*, 2005, 137.
3. P e r e g u d o v, F. I., & Tarasenko, F. P. (1989) *Introduction in System Analysis*. Moscow: Vysshaya Shkola.
4. Т о к о ч а к о в а, Н. В. *Metodologiya Otsenki Energoeffektivnosti Transporta Nefti na Osnove Modelirovaniia Elektropotrebleniia. Avtoref. dis. d-ra tekhn. nauk [Methodology for Evaluation of Oil Transport Energy Efficiency on the Basis of Energy Consumption Modeling. Dr. tech. sci. diss.]*. Gomel, Minsk, 2007.

Представлена кафедрой электроснабжения

Поступила 11.11.2013