

УДК 621.311

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ С КУСОЧНО-НЕПРЕРЫВНЫМИ РАСХОДНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ И СОБСТВЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Ю. Н. КОЛЕСНИК, А. М. КУЗЕРО

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

В сложившихся условиях рыночной экономики при наличии разнообразных тарифных систем с одной стороны, нестабильности производственных программ и неравномерном электропотреблении с другой стороны необходима разработка новых или совершенствование существующих подходов к управлению электропотреблением [1]. Важной задачей управления является энергетическая оценка эффективности работы не только электроприемников, но и генераторов собственных электростанций предприятий, внедрению которых в настоящее время уделяется большое внимание. Отличительной особенностью предприятий, имеющих собственные источники электроэнергии и энергоемкое оборудование с кусочно-непрерывными расходными характеристиками, является возможность комплексного управления данным оборудованием [2]. Совершенствование в таких условиях может быть достигнуто путем оптимизации режимов работы энергоемкого оборудования и собственных источников электроэнергии предприятий с последующим формированием энергоэффективных режимов их совместной работы. Оптимизация может быть направлена на снижение расхода электроэнергии энергоемким оборудованием, денежных затрат на приобретение электроэнергии, минимизацию потребления электроэнергии из энергосистемы путем максимальной выработки электроэнергии собственными блок-станциями, увеличение дохода от продажи электроэнергии организациям ГПО «Белэнерго» за счет увеличения количества проданной электроэнергии в периоды наиболее выгодные для предприятия.

Постановка задачи

Задачей данного исследования является моделирование эффективных режимов электропотребления предприятий с энергоемким технологическим оборудованием и собственными блок-станциями, направленных на снижение энергозатрат предприятий в рыночных условиях функционирования.

Способ решения

Для решения поставленной задачи необходимо разработать математическую модель потребления электроэнергии технологическим оборудованием, исследовать эффективность генерации электроэнергии электростанциями предприятий, получить модель оптимальной совмещенной электрической нагрузки технологического оборудования и генераторов собственных электростанций предприятий.

На основе разработанных математических моделей производится комплексная оценка эффективности и потенциала энергосбережения по следующему алгоритму:

1. Производится определение параметров исходного режима работы предприятия при заданной производительности: расход электроэнергии $W_{исх}$, затраты на электроэнергию $Z_{исх}$, доход от продажи электроэнергии $D_{исх}$.

2. Производится определение оптимального режима работы электрооборудования, обеспечивающего минимум затрат предприятия на электроэнергию.

3. Определяются показатели эффективности оптимального режима работы оборудования в сравнении с исходным режимом (ΔZ , ΔW , ΔD).

4. На основе полученных показателей делается заключение об эффективности полученного режима.

В ходе исследования было установлено, что рассматривая укрупненную структуру электроэнергетических затрат предприятий с собственными источниками электроэнергии, целесообразно учитывать три наиболее значимые составляющие:

$$Z = Z_n + Z_r - D_n, \quad (1)$$

где Z_n – затраты предприятия на покупку электроэнергии; Z_r – затраты предприятия на генерацию электроэнергии; D_n – доход от продажи электроэнергии.

Из выражения видно, что достичь минимума электроэнергетических затрат Z можно путем снижения расхода электроэнергии технологическим оборудованием и снижением затрат на генерацию электроэнергии, а при генерируемых мощностях, превышающих уровень электропотребления предприятия, можно свести электропотребление из энергосистемы к нулю или продавать электроэнергию организации ГПО «Белэнерго».

Для снижения затрат предприятий на покупку электроэнергии необходимо определение оптимального состава и режима работы технологического оборудования, при этом для повышения точности расчетов необходимо учитывать ряд наиболее весомых факторов. В общем случае в качестве определяющих можно привести следующие факторы: вид тарифа на электроэнергию (T_1); объем производства продукции (V_n); период оптимизации (Π_1), определяемый с учетом пусковых особенностей электрооборудования и технологического процесса; затраты, связанные с переходом электрооборудования из одного режима в другой ($Z_{п1}$), например, запуск после простоев или изменения производительности электрооборудования. В результате зависимость затрат на покупку электроэнергии от вышеперечисленных факторов может быть представлена следующим образом:

$$Z_n = f(T_1; \Pi_1; V_n; Z_{п1}). \quad (2)$$

В зависимости от особенностей технологического процесса рассматриваемого предприятия и спроса на выпускаемую продукцию производится обоснование оптимальных периодов оптимизации работы энергоемкого технологического оборудования. Так, для энергоемкого оборудования со временем пуска более одних суток (например, система выпаривания соли ОАО «Мозырьсоль» после остановки выходит на номинальную производительность в течение полутора суток) период оптимизации сутки и менее является малоцелесообразным ввиду значительно большего удельного расхода электроэнергии на выпуск продукции в режиме выхода на номинальную производительность в сравнении с номинальным режимом работы.

Далее, в зависимости от заданных объемов производства в рамках принятого периода оптимизации производится определение оптимального состава технологического оборудования. Его работа оптимизируется с учетом тарифа на электроэнергию и затрат, связанных с переходом технологического оборудования из одного режима в другой.

Несмотря на разнообразие двигателей, используемых на блок-станциях, также можно выделить ряд общих ключевых факторов, определяющих затраты предприятия на генерацию электроэнергии. К таким факторам предлагается отнести мощность генерирующего оборудования (P) и затраты, связанные с переходом из одного режима генерации в другой ($Z_{п2}$):

$$Z_r = f(P; Z_{п2}). \quad (3)$$

Управление собственными блок-станциями наиболее целесообразно при дифференцированных системах тарификации за потребленную электроэнергию [2]. Главное преимущество при управлении в условиях многоставочных тарифов на электроэнергию – экономическая заинтересованность потребителей в маневрировании графиком нагрузки за счет снижения пиков и заполнения ночных провалов, что облегчает условия работы и улучшает экономические показатели энергосистемы. При этом потребитель сам определяет оптимальные режимы работы генерирующего оборудования для каждой из тарифных зон, исходя из себестоимости вырабатываемой электроэнергии.

В случае неравенства удельной стоимости вырабатываемой электроэнергии собственными блок-станциями и покупаемой у энергосистемы для отдельно взятой тарифной зоны (временного интервала) делается вывод о целесообразности потребления от соответствующего более дешевого источника. При этом следует помнить, что принудительное снижение электрической мощности блок-станций не выгодно при меньшей себестоимости вырабатываемой электроэнергии по сравнению с энергосистемой и допускается лишь в случае, если себестоимость собственной электроэнергии на отдельных временных интервалах графика электрических нагрузок превышает стоимость электроэнергии от энергосистемы. Однако управление собственным источником электроэнергии целесообразно и в случае превышения потребителем заявленной мощности участия в максимуме нагрузки энергосистемы, при котором на него налагаются штрафные санкции.

Затраты, связанные с переходом генератора из одного режима в другой, можно охарактеризовать как изменение удельного расхода топлива относительно некоторой генерируемой мощности, принятой за базовую. Для определения затрат при управлении собственными источниками электроэнергии необходимо получить экспериментальную зависимость удельного расхода топлива b от мощности генератора P :

$$b = f(P). \quad (4)$$

При этом, как правило, наиболее экономичным является режим номинальной нагрузки генератора. В общем случае, увеличение удельного расхода топлива при управлении генерирующим оборудованием определяется как разность удельного расхода топлива при расчетном режиме работы $b_{расч}$ и наиболее экономичным $b_{опт}$:

$$\Delta b_{упр} = b_{расч} - b_{опт}. \quad (5)$$

Зная данные параметры, можно производить расчет целесообразности управления собственными источниками электроэнергии при заданных условиях.

Предприятия с собственными блок-станциями, имеющие избыток генерирующих мощностей, могут продавать электроэнергию электроснабжающей организации ГПО «Белэнерго». Доход от продажи электроэнергии предприятиями зависит напрямую от количества проданной электроэнергии ($W_{пр}$) и тарифа на ее продажу (T_2):

$$D_{п} = f(W_{пр}; T_2). \quad (6)$$

Напомним, что согласно подпункту 1.2.1 Постановления Министерства экономики Беларуси от 10.06.2010 г. № 99 у объектов малой энергетики (блок-станций), использующих природный газ и продукты переработки нефти, при наличии у них АСКУЭ, произведенная электроэнергия приобретает электроснабжающими организациями ГПО «Белэнерго» по одноставочному промышленному тарифу, дифференцированному по временным периодам с применением следующих тарифных коэффициентов:

- в дневные часы максимальных нагрузок энергосистемы – 0,9;
- в дневные часы средних нагрузок – 0,8;
- в ночные часы минимальных нагрузок – 0,45.

Изменение продолжительности тарифных зон зависит от календарного времени года с делением на отопительный (с 15 октября по 14 апреля) и неотапливаемый (с 15 апреля по 14 октября) период. Также следует отметить, что длительность зон данного тарифа значительно отличается от двухставочно-дифференцированного тарифа на электроэнергию, что еще более усложняет задачу оптимизации.

Результаты исследований и их обсуждение

Рассмотрим изложенное выше на примере ОАО «Мозырьсоль». Предприятие характеризуется безостановочным технологическим процессом, нестабильной программой производства, долей электроэнергетической составляющей в себестоимости продукции 30 % и годовым электропотреблением около 28 млн кВт · ч.

При анализе состава оборудования и характерных режимов электропотребления выявлено два основных технологических режима: работа одной или двух систем выпаривания соли, которые и формируют кусочно-непрерывную расходную характеристику предприятия. Работа каждой из них характеризуется своей производительностью, энергоэффективностью, а также величиной потребляемой и генерируемой энергии. Генерация электроэнергии на предприятии осуществляется четырьмя турбогенераторами с противодавлением пара, два из которых номинальной мощностью 1,5 МВт и два 1,6 МВт. При работе данные генераторы также образуют кусочно-непрерывную расходную характеристику.

Путем обработки исходной базы данных и регрессионного анализа временных рядов была получена математическая модель электропотребления выпарных систем для моделирования среднесуточного электропотребления:

$$W = \begin{cases} 0,042 \cdot V + 11,1 & \text{при } 500 \leq V \leq 912; \\ 0,014 \cdot V + 45,1 & \text{при } 912 < V \leq 1440, \end{cases} \quad (7)$$

где V – объем выпущенной продукции за сутки, тонн.

Далее с целью определения расхода топлива при переменных нагрузках собственных источников электроэнергии ОАО «Мозырьсоль» выполнены технические испытания генераторов [2]. Так, например, для турбогенератора с противодавлением пара номинальной мощностью 1,5 МВт получена энергетическая (топливная) характеристика зависимости электрической мощности P от удельного расхода топлива b (рис. 1):

$$P = 5911,6 \cdot b - 506,13 \text{ при } 0,1 < b < 0,34. \quad (8)$$

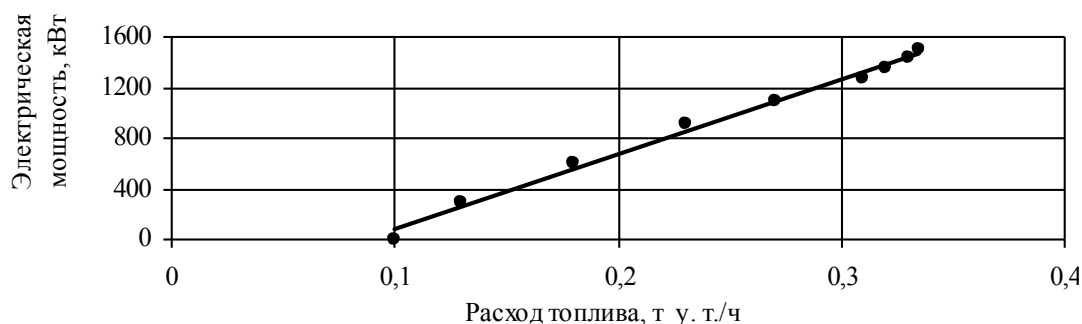


Рис. 1. Энергетическая характеристика турбогенератора мощностью 1,5 МВт

Экспериментальная зависимость показателя эффективности генерации собственной электроэнергии показала, что наиболее экономичным для турбогенератора предприятия является режим номинальной нагрузки (рис. 2).

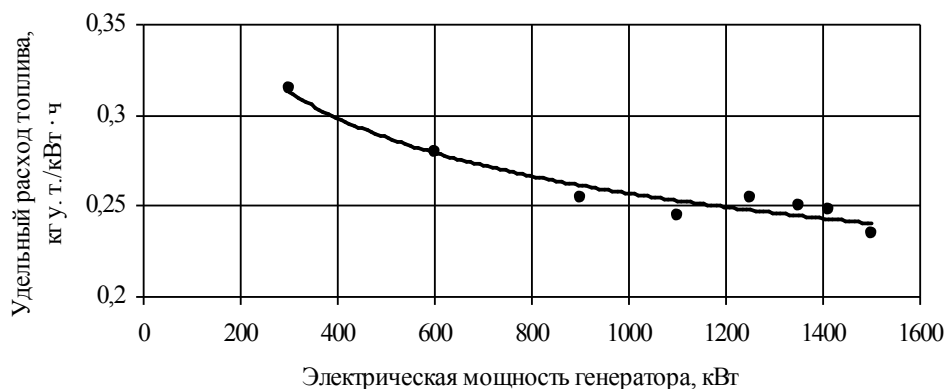


Рис. 2. Зависимость удельного расхода топлива от электрической мощности турбогенератора 1,5 МВт

В соответствии с этим была использована зависимость повышения удельного расхода топлива при управлении турбогенератором относительно наиболее экономичного режима его работы (рис. 3):

$$\begin{cases} \Delta b_{\text{упр}} = -0,04 \ln(P) + 0,31 \text{ при } 300 \leq P < 1500; \\ \Delta b_{\text{упр}} = 0 \text{ при } P = P_{\text{ном}}. \end{cases} \quad (9)$$

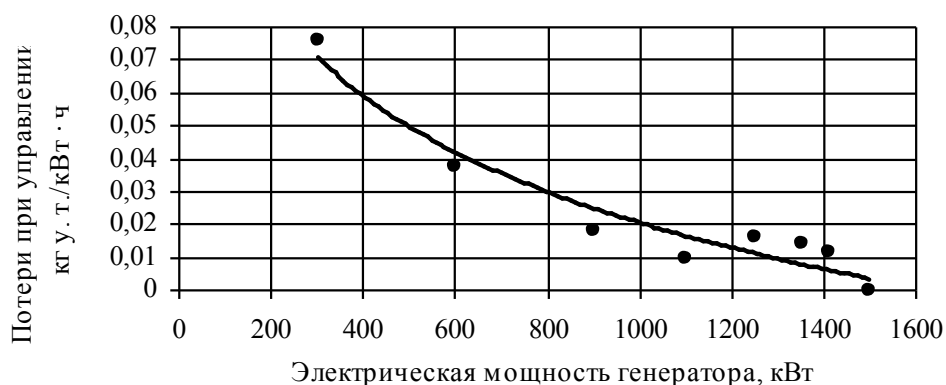


Рис. 3. Зависимость повышения удельного расхода топлива относительно номинального режима от электрической мощности турбогенератора 1,5 МВт

Расчет показал, что при снижении нагрузки до 1050 кВт удельный расход топлива по сравнению с режимом номинальной нагрузки выше на 5,4 %. Результаты расчетов удельного расхода топлива на производство собственной электроэнергии подтверждаются исследованиями, представленными в [3].

На данном этапе исследования не производился детальный учет всех составляющих потерь, таких, как: потери пара через концевые уплотнения турбины, термические, механические (на трение в опорных и упорных подшипниках, в редукторе), а также электрических потерь.

Далее, исходя из формулы (1), была произведена оптимизация энергозатрат предприятия, используя следующую целевую функцию:

$$Z = Z_{\text{п}} + Z_{\text{г}} - D_{\text{п}} \rightarrow \min. \quad (10)$$

Результаты оптимизации приведены в таблице.

Результаты оптимизации режима электропотребления

Режим работы	Расход электроэнергии выпарными системами предприятия				Выработано электроэнергии блок-станциями		Затраты на генерацию электроэнергии		Доход от продажи электроэнергии	
	Общий		Удельный		тыс. кВт·ч	%	млн р.	%	млн р.	%
	тыс. кВт·ч	%	кВт·ч/т	%						
Исходный	1901,4	100	53,5	100	2888,9	100	446,3	100	90,1	100
Оптимальный по критерию мини-затрат	1753,5	92,2	49,4	92,2	2810,4	97,3	427,2	95,7	102,8	114,1

Как видно из представленных результатов, возможно снижение электропотребления выпарными системами на 7,8 % за счет оптимизации режима электропотребления при сохранении заданного объема производства. При этом электропотребление из энергосистемы, как в исходном режиме, так и в оптимальном, равно нулю.

Также возможно снизить расходы на генерацию электроэнергии за счет оптимизации режима работы собственных источников электроэнергии. Так, в исходном режиме было выработано на 2,7 % электроэнергии больше в сравнении с оптимальным режимом, но при этом затраты на генерацию электроэнергии выше на 4,3 %. При этом доход от продажи электроэнергии возрос на 14,1 % в сравнении с исходным режимом, что вызвано увеличением разницы между уровнем потребляемой электроэнергии и генерируемой. Такое непропорциональное увеличение объясняется тем, что себестоимость производства электроэнергии на собственных блок-станциях значительно ниже (в 1,3–2,5 раза), чем стоимость, по которой электроэнергия приобретается у предприятия организациями ГПО «Белэнерго».

Заключение

Установлено, что в рыночных условиях функционирования управление собственными источниками электроэнергии и энергоемким технологическим оборудованием с кусочно-непрерывной расходной характеристикой в совокупности позволяет снизить уровень электропотребления, денежные затраты на приобретение электроэнергии, а также позволяет получать доход от продажи электроэнергии организациям ГПО «Белэнерго».

На примере ОАО «Мозырьсоль» показана возможность получения реального эффекта за счет мер организационного характера путем управления генераторами электроэнергии и энергоемкими технологическими установками предприятия:

- расчетное снижение электропотребления выпарными системами предприятия составляет 7,8 %;
- затраты на генерацию электроэнергии на предприятии могут быть снижены на 4,3 %;
- доход от продажи электроэнергии организациям ГПО «Белэнерго» может быть увеличен на 14,1 %.

Литература

1. Иванейчик, А. В. Управление режимами технологического оборудования с кусочно-непрерывными расходными характеристиками электропотребления / А. В. Иванейчик, Ю. Н. Колесник // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2008. – № 9. – С. 53–58.
2. Веньгин, К. А. Анализ методов и разработка алгоритмов контроля эффективности электропотребления предприятий с собственными генераторами электроэнергии : дис. ... магистра техн. наук: 43.01.03 / К. А. Веньгин ; ГГТУ им. П. О. Сухого. – Гомель, 2007. – 103 с.
3. Старжинский, А. Л. Оценка удельного расхода топлива для производства электроэнергии на электростанциях промышленных предприятий / А. Л. Старжинский // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2006. – № 2. – С. 82–87.

Получено 04.07.2011 г.