

УДК 621.311

ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С КУСОЧНО-НЕПРЕРЫВНЫМИ РАСХОДНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ И В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ

Ю. Н. КОЛЕСНИК, А. В. ИВАНЕЙЧИК,
А. М. КУЗЕРО, А. Н. РАБКОВ

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

Введение

Технологическое оборудование промышленных предприятий имеет определенную специфику функционирования и ряд производственных характеристик. Одной из основных является характеристика электропотребления, представляющая собой зависимость расхода электроэнергии W от объема выпускаемой продукции Π и позволяющая оценивать эффективность электропотребления оборудования. Однако установлено, что в нестабильных условиях производственной программы, наряду с непрерывными расходными характеристиками электропотребления, выделяются потребители с кусочно-непрерывными расходными характеристиками (рис. 1). При этом потребители работают в различных режимах из-за меняющейся производственной программы и технологических факторов, что в свою очередь приводит к работе оборудования со скачкообразно изменяющейся энергоэффективностью [1] в точках разрыва первого рода. При этом кусочно-непрерывными расходными характеристиками могут описываться не только режимы отдельных электроприемников, но и их группы, объединенные одним технологическим процессом. Поэтому в условиях рыночной экономики, когда объем производства продукции носит неопределенный характер и зависит от множества внешних факторов (спрос на готовую продукцию, наличие сырья на складе и т. д.), а потребляемая электроэнергия изменяется в существенных пределах (рис. 2), становятся актуальными задачи прогнозирования наиболее оптимальных режимов работы технологического оборудования.

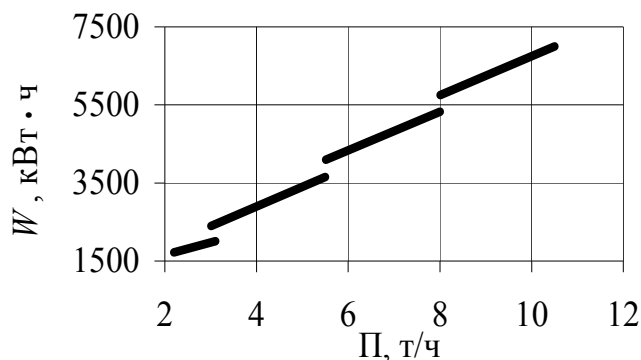


Рис. 1. Кусочно-непрерывная расходная характеристика РУП ГЛЗ «Центролит»

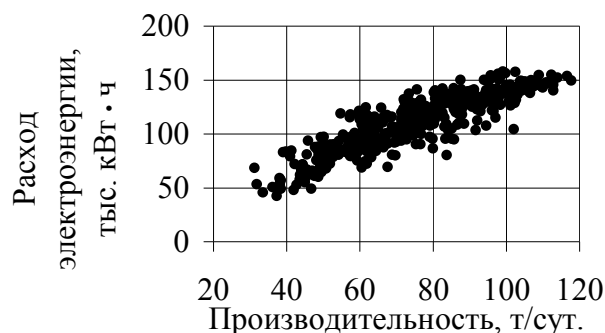


Рис. 2. Зависимость расхода электроэнергии от объемов выпускаемой продукции РУП ГЛЗ «Центролит»

Постановка задачи

Необходимо определить наиболее энергоэффективный режим работы технологического оборудования [2], позволяющий снизить расход электроэнергии, а также затраты на ее покупку в условиях неопределенности производственной программы, т. е. когда запланированный объем выпуска продукции не совпадает с фактическим или носит вероятностный характер.

Способ решения

В зависимости от цели авторам представляется возможным несколько путей определения прогнозируемых объемов выпускаемой продукции:

1. Назначение объема выпуска продукции и определение вероятности того, что фактический объем выпуска продукции совпадет с заданным. Для заданного объема производится формирование оптимальной электрической нагрузки, что позволит определить расход электроэнергии и энергозатраты с определенной долей вероятности.

2. Сравнение заданного объема выпуска продукции с фактически выполненным и построение с определенной долей вероятности доверительного интервала. Определение наиболее оптимальных режимов работы технологического оборудования в конечных точках этого интервала. Это позволит планировать возможную максимальную потребляемую мощность и принимать соответствующие решения.

3. Анализ статистических данных по выпуску продукции при одинаковых внешних условиях, влияющих на объем производства, и определение наиболее вероятного диапазона производства, для которого целесообразно определение оптимальных режимов работы в граничных точках. Это позволит спланировать электрическую нагрузку технологического оборудования и энергозатраты, а также непосредственно объем производства.

4. Определение наиболее вероятного объема производства и такого диапазона отклонений, чтобы состав оборудования, входящий в производственный цикл, не изменялся. Это позволит избежать дополнительных затрат, связанных с переходом оборудования из одного технологического режима в другой.

В данной работе производится определение оптимальных режимов работы технологического оборудования при заданном объеме производительности с определенной вероятностью.

Для решения поставленной задачи предлагается:

– произвести сбор и систематизацию суточного количества выпускаемой продукции, режимов электропотребления технологического оборудования, расходных характеристик оборудования и факторов, влияющих на режим электропотребления;

- сформировать информационную базу данных;
- определить с заданной долей вероятности производственную программу;
- построить математическую модель электропотребления оборудования;
- произвести комплексную оценку эффективности режимов работы оборудования и определить наиболее оптимальный в зависимости от заданного критерия.

Структурная схема исследования представлена на рис. 3.



Рис. 3. Структурная схема исследования

Исследования производились на ряде предприятий, одним из которых является РУП ГЛЗ «Центролит», где порядка 65 % расхода электрической энергии приходится на плавильные печи. После сбора и обработки исходных данных была получена кусочно-непрерывная расходная характеристика электропотребления (рис. 1). Для определения прогнозируемого объема выпускаемой продукции на предприятии были обработаны статистические данные ежедневных объемов выпуска продукции за предыдущие периоды и выбран один из наиболее вероятных. Затем была построена математическая модель электропотребления технологического оборудования [3].

Были получены целевые функции для проведения оптимизации электрической нагрузки по критерию минимума расхода электроэнергии и затрат на ее покупку:

$$\sum_{i=1}^T W_i = \sum_{i=1}^T \begin{cases} 425\Pi(p) + 705 & \text{при } 2 \leq \Pi \leq 3, \\ 504,02\Pi(p) + 882,9 & \text{при } 3 < \Pi \leq 5,5, \\ 493,98\Pi(p) + 1378,2 & \text{при } 5,5 < \Pi \leq 8, \\ 504,02\Pi(p) + 1712,8 & \text{при } 8 < \Pi \leq 10,5, \end{cases} \Rightarrow \min,$$

где Π – производительность, т/ч; p – вероятность того, что заданный объем совпадет с фактическим; T – время работы, ч/сут;

$$\begin{aligned} Z = & \max \left[\begin{array}{l} 6425\Pi(p) + 705 & \text{при } 2 \leq \Pi \leq 3, \\ 504,02\Pi(p) + 882,9 & \text{при } 3 < \Pi \leq 5,5, \\ 493,98\Pi(p) + 1378,2 & \text{при } 5,5 < \Pi \leq 8, \\ 504,02\Pi(p) + 1712,8 & \text{при } 8 < \Pi \leq 10,5 \end{array} \right] \cdot 21358,7 \cdot 0,5 + \\ & + \left[\begin{array}{l} \sum_{i=1}^3 \begin{cases} 425\Pi(p) + 705 & \text{при } 2 \leq \Pi \leq 3, \\ 504,02\Pi(p) + 882,9 & \text{при } 3 < \Pi \leq 5,5, \\ 493,98\Pi(p) + 1378,2 & \text{при } 5,5 < \Pi \leq 8, \\ 504,02\Pi(p) + 1712,8 & \text{при } 8 < \Pi \leq 10,5 \end{cases} \cdot 2,085 + \\ \sum_{i=4}^{10} \begin{cases} 425\Pi(p) + 705 & \text{при } 2 \leq \Pi \leq 3, \\ 504,02\Pi(p) + 882,9 & \text{при } 3 < \Pi \leq 5,5, \\ 493,98\Pi(p) + 1378,2 & \text{при } 5,5 < \Pi \leq 8, \\ 504,02\Pi(p) + 1712,8 & \text{при } 8 < \Pi \leq 10,5 \end{cases} \cdot 0,783 + \\ \sum_{i=11}^{24} \begin{cases} 425\Pi(p) + 705 & \text{при } 2 \leq \Pi \leq 3, \\ 504,02\Pi(p) + 882,9 & \text{при } 3 < \Pi \leq 5,5, \\ 493,98\Pi(p) + 1378,2 & \text{при } 5,5 < \Pi \leq 8, \\ 504,02\Pi(p) + 1712,8 & \text{при } 8 < \Pi \leq 10,5 \end{cases} \cdot 1 \end{array} \right] 198,5 + Z_{\text{доп}} \Rightarrow \min, \end{aligned}$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительные затраты, связанные с переходом оборудования из одного технологического режима в другой.

Поставленная задача определения наиболее эффективных режимов работы технологического оборудования была решена с помощью программы, разработанной в среде Visual Basic, которая позволяет находить оптимум решения в условиях неоп-

ределенности производственной программы, основываясь на методе Монте-Карло [4]. Напомним, что данный метод представляет собой многократное обращение к генератору случайных чисел с последующим формульным преобразованием. В результате такого преобразования получается решение конкретной аналитической модели, т. е. составляется программа для осуществления одного случайного испытания. Затем испытания повторяются N раз, причем каждый опыт не зависит от всех остальных. В итоге получается N выборок. Далее, используя математическую статистику, находим оптимальное решение для заданного с определенной долей вероятности объема производства продукции.

Результаты исследований и их обсуждение

В результате произведенных исследований были получены оптимальные режимы работы технологического оборудования РУП ГЛЗ «Центролит» в условиях неопределенности производственной программы и выполнена оценка их эффективности в сравнении с существующим режимом работы предприятия, представленным на рис. 4, при той же производительности.

На рис. 5 представлен наиболее энергоэффективный режим работы оборудования. В результате при данном виде оптимизации расчетный расход электроэнергии на выплавку 108 т металла составил 71,7 тыс. кВт · ч, что на 1,4 % ниже фактического уровня электропотребления печами.

На рис. 6 представлен наименее энергозатратный режим работы оборудования. В результате расчетный эффект, полученный за счет оптимизации режимов электропотребления, составил 2,59 млн р. или 12,8 % от фактических энергозатрат.

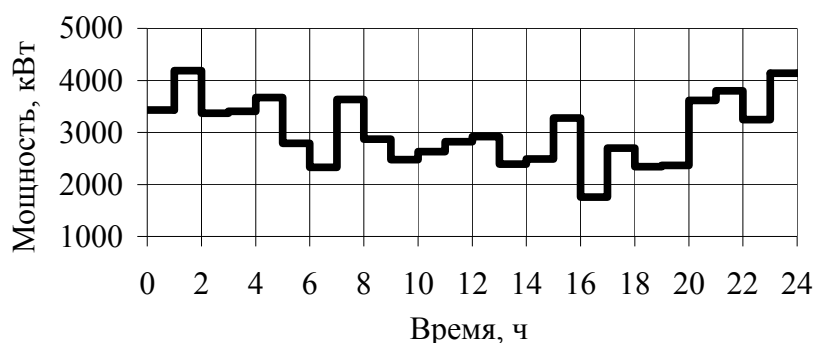


Рис. 4. График электрических нагрузок индукционных тигельных печей РУП ГЛЗ «Центролит»

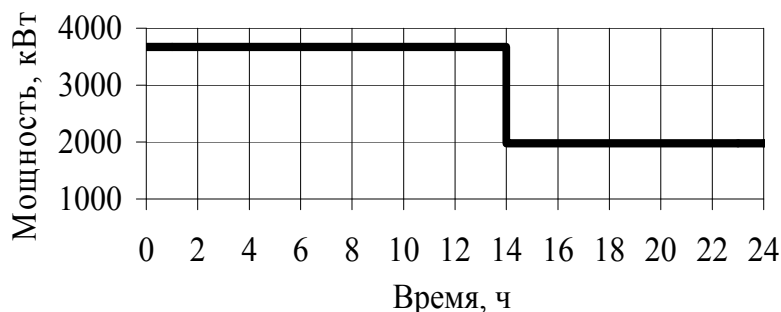


Рис. 5. Режим работы индукционных тигельных печей РУП ГЛЗ «Центролит», оптимизированный по критерию минимума расхода электроэнергии

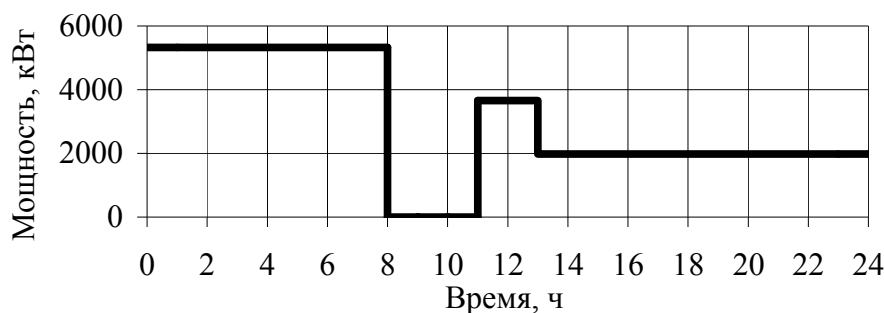


Рис. 6. Режим работы индукционных тигельных печей РУП ГЛЗ «Центролит», оптимизированный по критерию минимума затрат на покупку электроэнергии

Сравнительные результаты, полученные за счет определения наиболее эффективных режимов работы технологического оборудования РУП ГЛЗ «Центролит» по различным критериям, представлены в таблице.

Результаты определения оптимальных режимов работы технологического оборудования на РУП ГЛЗ «Центролит»

Оптимизация	Расход электрической энергии, тыс. кВт · ч	Энергозатраты, тыс. р.	Средняя стоимость электрической энергии, р./кВт · ч	Удельный расход электрической энергии, кВт · ч/т
Исходный режим работы	72,7/100 %	20218,8/100 %	278,1/100 %	673/100 %
По минимуму расхода электроэнергии	71,7/98,6 %	20790,2/102,8 %	290/104,3 %	664/98,6 %
По минимуму энергозатрат	72,2/99,4 %	17631,9/87,2 %	244,2/87,8 %	669/99,4 %
По двум критериям сразу	71,7/98,6 %	18127,7/89,7 %	252,8/90,9 %	664/98,6 %

Заключение

Установлено, что формирование оптимального состава и режима работы технологического оборудования при неопределенной производственной программе позволяет снизить расход электроэнергии (на 1,4 %) и энергозатраты (на 12,8 %) на предприятии и практически не требует дополнительных капитальных вложений, что делает такие мероприятия весьма эффективными.

Результаты исследований могут быть использованы для прогнозирования электрических нагрузок на заданном промежутке времени, что позволит грамотно и более точно задавать максимальную нагрузку для энергосистемы и рассчитываться с энергоснабжающей организацией за израсходованную электроэнергию без каких-либо штрафных санкций.

Литература

1. Иванейчик, А. В. Управление режимами технологического оборудования с кусочно-непрерывными расходными характеристиками электропотребления

- / А. В. Иванейчик, Ю. Н. Колесник // Наукоемкие технологии. – 2008. – № 9. – С. 53–58.
2. Гордеев, В. И. Управление электропотреблением и его прогнозирование / В. И. Гордеев, И. Е. Васильев, В. И. Щуцкий. – Ростов-на-Дону : Ростов. ун-т, 1991. – 210 с.
 3. Колесник, Ю. Н. Моделирование и оптимизация электрической нагрузки потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками при различных тарифах на электроэнергию / Ю. Н. Колесник, А. В. Иванейчик, К. А. Веньгин // Изв. вузов и энергет. об-ний СНГ. Энергетика. – 2008. – № 3. – С. 26–32.
 4. Кузнецов, А. В. Руководство к решению задач по математическому программированию / А. В. Кузнецов, Н. И. Холод, Л. С. Костевич. – Минск : Высш. шк., 2001. – 448 с.

Получено 14.06.2010 г.