

УДК 658.26:336.64

Л.В. ОЛЕХНОВИЧ

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

*Для того чтобы Республике Беларусь приблизиться к показателям экономически развитых стран по энергоёмкости ВВП, учитывая отраслевую структуру ее промышленности, следует обеспечить рост ВВП без увеличения потребления топливно-энергетических ресурсов. Возможность такого пути развития основывается на имеющемся в стране значительном потенциале энергосбережения, который составляет около 30% нынешнего годового потребления топливно-энергетических ресурсов в стране. В статье предложена многокритериальная модель оптимизации производства на основе энергоэффективного использования.*

### Введение

Республика Беларусь относится к странам, геологическая структура которых характеризуется крайне бедными топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР). Беларусь, не располагая собственной сырьевой базой, импортирует примерно 85% потребляемых ТЭР. Данное обстоятельство влияет на сферу экономической и экологической безопасности государства, национальная экономика становится зависимой от внешних поставщиков и уязвимой по отношению к резким колебаниям цен на энергоресурсы. Республиканской программой энергосбережения на 2006 – 2010 гг. установлено задание по снижению энергоёмкости ВВП в 2010 г. на 31% к уровню 2005 г., что позволит достигнуть уровня 280 кг/1000 долл. США [1]. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. рассматривает рациональное использование энергоресурсов как важнейшее направление перехода страны к устойчивому развитию [2]. Промышленность является самой энергоёмкой отраслью национальной экономики. Ее доля в валовом потреблении ТЭР народным хозяйством составляет 67%, а энергоёмкость производимой валовой добавленной стоимости в 2,4 раза выше уровня данного показателя в национальном ВВП, что позволяет промышленности оказывать значительное влияние на общее энергопотребление в республике, уровень и динамику энергоёмкости ВВП.

### Основная часть

Динамика изменения ВВП, потребления топливно-энергетических ресурсов и энергоёмкости ВВП в Беларуси с 1995 по 2008 г. приведены на рис. 1.

Снижение энергоёмкости повышает ценовую конкурентоспособность белорусской промышленной продукции. Поскольку значительная часть последней реализуется в Российской Федерации, то целесообразно сравнить ее энергоёмкость с российской за 2007 г. [3] (рис. 2).

Такой результат получен из-за меньшей энергоёмкости продукции электроэнергетики, топливной, легкой и пищевой промышленности. В то же время в таких крупных отраслях, как машиностроение, химическая и нефтехимическая, черная металлургия она выше, чем в аналогичных российских. Удельный вес энергозатрат в себестоимости промышленной продукции в белорусской промышленности ниже практически по всем отраслям, кроме черной металлургии, что определяется различиями в технологиях и ассортименте выпускаемой продукции.

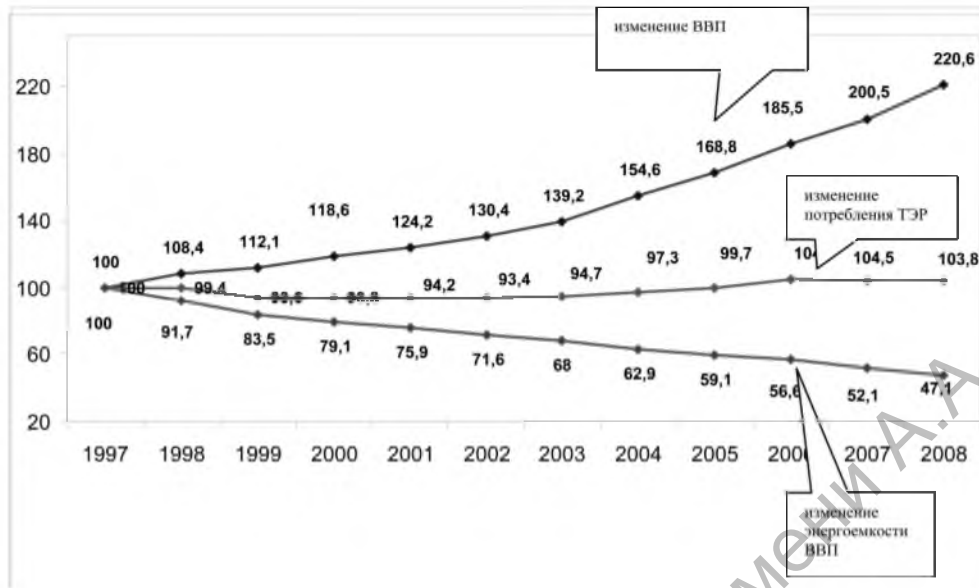


Рис. 1. Изменение ВВП, потребления топливно-энергетических ресурсов и энергоёмкости ВВП в Республике Беларусь по годам относительно данных 1995 г.

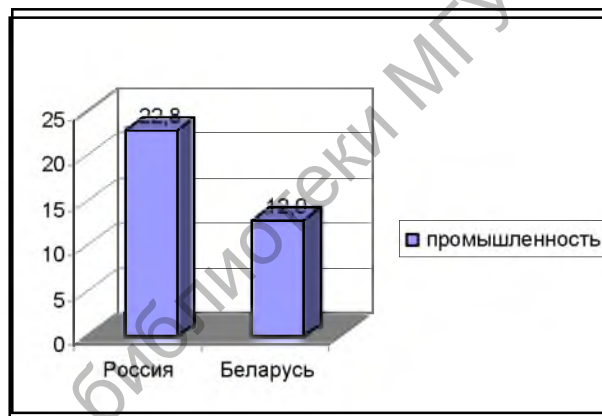


Рис. 2. Доля энергозатрат на производство продукции в России и Беларуси, в %

На расхождение уровня энергоёмкости промышленной продукции Беларуси и Российской Федерации оказывают влияние различия в отраслевой структуре их промышленности. В российской наибольший удельный вес имеют высокоэнергоёмкие топливная отрасль и электроэнергетика, в белорусской значительный удельный вес пищевой, обладающей низкой энергоёмкостью.

Важнейшим фактором низкой конкурентоспособности отечественных производств в абсолютном большинстве отраслей промышленности являются высокие издержки производства и в первую очередь затраты топлива и энергии. Поэтому энергосбережение можно рассматривать как важнейшее проявление инновационной политики предприятия.

Согласно Концепции энергосбережения, общий потенциал энергосбережения Беларуси оценивается на уровне 9350 млн тонн условного топлива, или около 30% от нынешнего годового потребления топливно-энергетических ресур-

сов. Распределение потенциала энергосбережения по отраслям и государственным организациям представлено на рис. 3 [3].

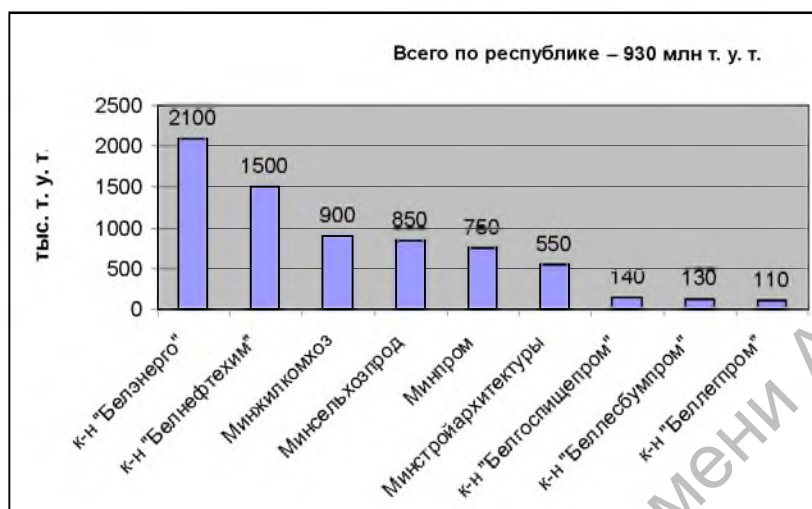


Рис. 3. Распределение потенциала энергосбережения по отраслям

Энергосбережение можно считать одним из видов производственной деятельности, которая требует основательного и продуманного управления. Для решения проблем энергосбережения очень важное значение имеет эффективная система управления. Целью энергетического менеджмента является снижение энергетической составляющей в общей структуре затрат предприятия и, следовательно, обеспечение конкурентоспособности выпускаемой продукции на внутреннем и внешнем рынках [4].

Современное состояние экономики требует от предприятий использования широкого оптимизационного подхода к сфере управления такими процессами.

Основным условием обеспечения высокой конкурентоспособности белорусской экономики являются инновации, постоянное технологическое совершенствование всех сфер деятельности путем использования новых знаний. Оно должно осуществляться в соответствии с инновационной стратегией, формируемой на всех уровнях управления и хозяйствования с учетом результатов научно-технического прогнозирования и маркетинга и ориентированной на опережение возможных конкурентов в расширении действующих и создании новых рынков товаров и услуг.

Система управления энергосбережением на предприятиях промышленности недостаточно налажена. Значительные просчеты существуют в планировании, занимающем основное место в системе управления энергосбережением. Многие рациональные идеи не реализованы из-за отсутствия достаточной подготовки, средств, непредставления проектов заинтересованным лицам.

Энергосбережение в промышленности европейских стран развивалось двумя основными способами:

- путем реконструкции основных фондов при замене оборудования и технологий на основе энергосберегающей техники;
- путем снижения непроизводительных потерь и затрат энергоресурсов.

Уровень капиталовложений и временных затрат на реализацию программ энергосбережения на основе второго способа ниже в десятки, а зачастую и в

сотни раз. В некоторых случаях может быть возможным снижение энергопотребления промышленного предприятия на 10-20% только на основе организационных мероприятий.

Решение современных экономических проблем и анализ экономической ситуации в рыночной экономике требует использования математических методов, так как любая экономическая политика основывается на изучении взаимосвязей экономических показателей, а инструментом их анализа являются математические методы.

Экономическая теория при своем развитии (как на макро-, так и на микроуровнях) всегда использовала математические модели и методы для иллюстративных и исследовательских целей. Так, например, простейшие математические модели на уровне таблиц и формул использовались еще в XVII в. А. Смитом (классическая макроэкономическая модель) [5]. В настоящее время в основе моделирования лежат математическая статистика, математическое программирование, теория игр, теория нечетких множеств и другие разделы математики. Математическая модель экономического объекта – это его голоморфное отображение в виде совокупности уравнений, неравенств, логических отношений, графиков, т.е. условный образ объекта. Всякая математическая модель является упрощенным представлением действительности. Искусство ее построения состоит в том, чтобы достигнуть максимальной концентрации реальности в простой математической форме. Примерами экономических моделей являются модели потребительского выбора, модели фирмы, экономического роста и т.д. Экономическая модель позволяет выявить особенности функционирования экономического объекта и предсказывать его будущее поведение.

Как правило, на предприятиях ставятся цели не только снизить энергоемкость продукции, но и повысить доходность производства. Это приводит к тому, что перед руководителем ставится многокритериальная задача: с одной стороны, снизить энергоемкость производства, с другой – повысить его прибыльность. Это приводит к тому, что приходится решать многокритериальные задачи. К общей формулировке многокритериальной задачи могут сводиться задачи различного содержания, но их все можно подразделить на четыре типа:

1. Задачи оптимизации на множестве целей, каждая из которых должна быть учтена при выборе оптимального решения.

2. Задача оптимизации на множестве объектов, качество функционирования каждого из которых оценивается самостоятельным критерием.

3. Задачи оптимизации на множестве условий функционирования. Задан спектр условий, в которых предстоит работать объекту, и применительно к каждому условию качество функционирования оценивается некоторым частным критерием.

4. Задачи оптимизации на множестве этапов функционирования. Рассматривается функционирование на некотором интервале времени, разбитом на несколько этапов. Качество управления на каждом этапе оценивается частным критерием, а на множестве этапов – одним общим векторным критерием.

Для решения подобных задач наиболее приемлемыми являются методы векторной оптимизации, в частности, такой, как метод равных и наименьших отклонений [6].

Суть метода равных и наименьших отклонений состоит в том, что в итоге решения задачи таким методом получается план производства, при котором отклонение энергоемкости выпускаемой продукции и прибыли от ее реализации от оптимальных значений равны. При этом задача решается в два этапа:

1. Задача решается отдельно по критерию прибыльности и по критерию энергоемкости.

2. Составляется замещающая задача. Целевой функцией в этой задаче может быть любой критерий.

Кроме того, к ограничениям исходной задачи добавляются дополнительные ограничения, рассчитываемые по следующим формулам.

Если и первый и второй критерий шли на минимум –

$$\frac{f_2(x)}{f_2^*} - \frac{f_1(x)}{f_1^*} = 0, \quad (1)$$

где  $f_1(x)$  – первый критерий,

$f_2(x)$  – второй критерий,

$f_1^*(x), f_2^*(x)$  – оптимальное значение первого и второго критерия соответственно.

Если первый критерий шел на максимум, а второй на минимум (2) –

$$\frac{f_2(x)}{f_2^*} + \frac{f_1(x)}{f_1^*} = 0. \quad (2)$$

Также необходимо добавить следующие критерии (3):

$$f_n(x) - f_n = 0, \quad (3)$$

где  $f_n(x)$  – критерий исходной задачи,

$f_n$  – дополнительная неизвестная задачи,

$n$  – количество критериев в задаче.

Один из методических приемов, позволяющих обойти упрощение и схематизацию при изучении сложных явлений, заключается в использовании одновременно нескольких моделей. При этом каждая рассматривается как частный случай более общей модели, необходимой для адекватного описания экономической ситуации [6].

Предприятие выпускает продукцию трех видов: А, Б и В. Количество ресурсов, необходимое для выпуска единицы продукции, приведено в таблице.

**Исходные данные для построения модели**

Наименование	А	Б	В	Лимит
Трудовые затраты, р.	5 700	5 000	5 500	2 700 000
Материалы, р.	4 000	5 000	6 000	2 500 000
Электроэнергия, р.	5 200	5 200	5 500	
Прибыль за единицу, р.	20 000	18 000	22 000	
Спрос на товар, шт.	500	400	450	
Контракт на поставку, шт.	100	50	120	

Составим математическую модель задачи. Количество товара А обозначим через  $x_1$ , количество товара Б – через  $x_2$ , товара В – через  $x_3$ .

Поскольку на предприятии ставятся задачи получения максимальной прибыли и снижения затрат на электроэнергию, для решения задачи необходимо составить 2 целевые функции:

1) получение максимальной прибыли

$$F1 = 20000 x_1 + 18000 x_2 + 22000 x_3 > \max;$$

2) снижение затрат на электроэнергию

$$F2 = 5200 x_1 + 5200 x_2 + 5500 x_3 > \min.$$

Поскольку количество рабочего времени и сырья ограничено, можно записать следующие ограничения:

$$5700x_1 + 5000x_2 + 5500x_3 \leq 2700000,$$

$$4000x_1 + 5000x_2 + 6000x_3 \leq 250000.$$

Так как предприятие получило заказ на товар, то можно записать также ограничения на количество продукции:

$$x_1 \geq 100,$$

$$x_2 \geq 50,$$

$$x_3 \geq 120.$$

Также следует учесть рыночный спрос на продукцию:

$$x_1 \leq 500,$$

$$x_2 \leq 400,$$

$$x_3 \leq 450.$$

Так как количество продукции не может быть числом дробным или отрицательным, добавим следующие условия:  $x_1, x_2, x_3 \geq 0$ , целое.

Математическая модель задачи выглядит следующим образом:

$$F1 = 20000x_1 + 18000x_2 + 22000x_3 \rightarrow \max$$

$$F2 = 5200x_1 + 5200x_2 + 5500x_3 \rightarrow \min$$

$$\begin{cases} 5700x_1 + 5000x_2 + 5500x_3 \leq 2700000, \\ 4000x_1 + 5000x_2 + 6000x_3 \leq 250000, \\ x_1 \geq 100, \\ x_2 \geq 50, \\ x_3 \geq 120, \\ x_1 \leq 500, \\ x_2 \leq 400, \\ x_3 \leq 450, \\ x_1, x_2, x_3 \geq 0, \\ x_1, x_2, x_3 \text{ целое.} \end{cases}$$

Сведя исходную информацию в таблицу Excel, решим задачу по первому критерию, применив надстройку поиск решения. Математическая модель будет иметь вид:

$$F1 = 20000x_1 + 18000x_2 + 22000x_3 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} 5700x_1 + 5000x_2 + 5500x_3 \leq 2700000, \\ 4000x_1 + 5000x_2 + 6000x_3 \leq 250000, \\ x_1 \geq 100, \\ x_2 \geq 50, \\ x_3 \geq 120, \\ x_1 \leq 500, \\ x_2 \leq 400, \\ x_3 \leq 450, \\ x_1, x_2, x_3 \geq 0, \\ x_1, x_2, x_3 \text{ целое.} \end{cases}$$

Получим оптимальное значение для прибыли, равное 10154000 единиц. Затраты на электроэнергию составят 2611700 рублей.

Далее решим задачу по второму критерию. Математическая модель будет иметь вид:

$$F2=5200 x_1+5200 x_2+5500x_3 > \min$$

$$\begin{cases} 5700x_1 + 5000x_2 + 5500x_3 \leq 2700000, \\ 4000x_1 + 5000x_2 + 6000x_3 \leq 250000, \\ x_1 \geq 100, \\ x_2 \geq 50, \\ x_3 \geq 120, \\ x_1 \leq 500, \\ x_2 \leq 400, \\ x_3 \leq 450, \\ x_1, x_2, x_3 \geq 0, \\ x_1, x_2, x_3 \text{ целое.} \end{cases}$$

Получим оптимальное значение для объема электроэнергии, равное 1440000 единиц. Прибыль составит 5540000 единиц.

Составим замещающую задачу. Для этого в модель необходимо ввести дополнительные ограничения. Так как первый критерий стремится к максимуму, а второй к минимуму, воспользуемся формулой (2). Получим

$$\frac{20000 x_1 + 18000 x_2 + 22000x_3}{10154000} + \frac{5200 x_1 + 5200 x_2 + 5500x_3}{1440000} = 2.$$

Также необходимо добавить еще два ограничения согласно формуле (3):

$$20000 x_1 + 18000 x_2 + 22000x_3 - f_1 = 0$$

$$5200 x_1 + 5200 x_2 + 5500x_3 - f_2 = 0$$

В итоге модель примет следующий вид:

$$F1=20000 x_1+18000 x_2+22000x_3 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} \frac{20000 x_1 + 18000 x_2 + 22000x_3}{10154000} + \frac{5200 x_1 + 5200 x_2 + 5500x_3}{1440000} = 2 \\ 20000 x_1 + 18000 x_2 + 22000x_3 - f_1 = 0 \\ 5200 x_1 + 5200 x_2 + 5500x_3 - f_2 = 0 \\ 5700x_1 + 5000x_2 + 5500x_3 \leq 2700000, \\ 4000x_1 + 5000x_2 + 6000x_3 \leq 250000 \\ x_1 \geq 100, \\ x_2 \geq 50, \\ x_3 \geq 120, \\ x_1 \leq 500 \\ x_2 \leq 400 \\ x_3 \leq 450 \\ x_1, x_2, x_3 \geq 0. \end{cases}$$

Результаты найденных решений по отдельным критериям и решения замещающей задачи можно представить в виде рисунка 4.

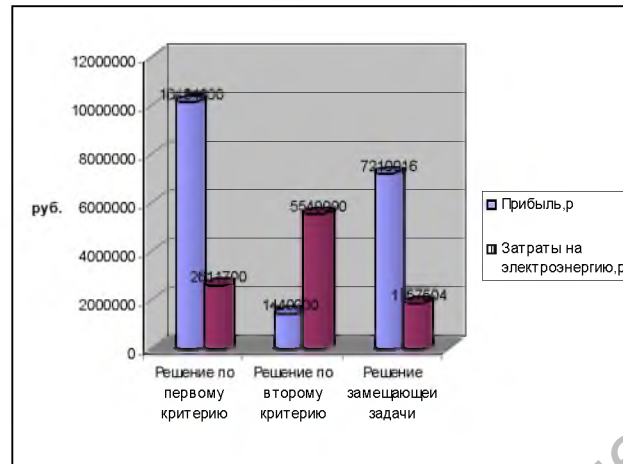


Рис. 4. Сравнение затрат и прибыли по критериям

В результате вычислений с помощью надстройки *поиск решения* получим следующее решение.

Необходимо произвести 100 единиц товара А, 50 единиц товара Б и 196 единиц товара В. При этом затраты на электроэнергию составят 1857504 единицы. Такой план производства позволит получить выручку в размере 7210016 единиц. Научно-техническая задача разработки методов, моделей и алгоритмов по управлению оптимизацией потерь электроэнергии является актуальной и практически востребованной в управлении промышленным предприятием.

#### Заключение

Таким образом, многокритериальный подход в управлении процессом энергосбережения на предприятии позволит не только получить желаемую прибыль, но и добиться при этом максимально возможного снижения энергозатрат.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидорский, С.С. Через экономию ресурсов – к росту экономики и благосостояния людей / С.С. Сидорский // Экономика Беларуси. – 2007. – № 3. – С. 6–15.
2. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. / Нац. комис. по устойчивому развитию Респ. Беларусь ; редкол.: Л.М. Александрович [и др.]. – Минск : Юнипак, 2004. – 202 с.
3. Хамчуков, Д.Ю. Динамика энергоёмкости промышленной продукции в 2000 – 2006 гг.: Основные тенденции и факторы / Д.Ю. Хамчуков, Н.Г. Кротова // Экономический бюллетень НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь. – 2007. – № 8. – С. 12–18.
4. Оголева, Н.Л. Инновационный менеджмент : учеб. пособие / Л.Н. Оголева. – Москва : ИНФРА, 2006. – 238 с.
5. Экономико-математические методы и модели : учеб. пособие / Н.И. Холод [и др.] ; под ред. А.В. Кузнецова. – Минск : Изд-во БГЭУ, 2000. – 412 с.
6. Экономико-математические методы и модели / И.Л. Акулич [и др.] ; под ред. И.Л. Акулич. – Минск: Изд-во БГЭУ, 2003. – 348 с.

Поступила в редакцию 31.05.2010 г.