

УДК 332.122:379.84

**А. И. Башта**

*Крымский научный центр НАНУ И МОНУ, г. Симферополь*

## **МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТЬЮ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

**Предложена модель управления себестоимостью производства энергии в зависимости от экологического состояния природной среды. Модель реализована при помощи метода системной динамики (АВС).**

*Ключевые слова:* модель, устойчивое развитие, возобновляемые источники энергии, энергосбережение, экологическое состояние, природная среда.

**Запропоновано модель управління собівартістю виробництва енергії залежно від екологічного стану природного середовища. Модель реалізовано за допомогою методу системної динаміки (АВС).**

*Ключові слова:* модель, сталий розвиток, відновлювані джерела енергії, енергозбереження, екологічний стан, природне середовище.

**A model of management of energy production costs depending on the ecological state of the environment is proposed. The model is realized by the method of system dynamics (ABC).**

*Key words:* model, sustainable development, renewable energy sources, energy saving, environmental condition, the natural environment.

Необходимость более широкого использования возобновляемых ресурсов давно (уже несколько десятков лет) стала очевидной задачей для современной экономики. Это связано, с одной стороны, с ограниченностью невозобновимых ресурсов, с другой, с загрязнением природной среды, имеющих негативные последствия для экономики государства.

Переход от традиционного энергообеспечения к альтернативному, как показывает анализ [1-6], обеспечивает повышение эффективности и автономности энергообеспечения региона за счет снижения зависимости традиционных источников энергии от поставок энергоносителей.

Исчерпание топливных ресурсов неизбежно стимулирует повышение цен на энергоносители, а неравномерность распределения энергетических месторождений – нарастание военно-политической борьбы за владение ими, что создаёт неустойчивость развития современной энергетики и человечества в целом. Нарастание темпов использования углеводородного энергетического сырья сопровождается все большим увеличением экологического риска возможных аварий из-за технических причин и террористических актов. Неустойчивость развития современной энергетики создаёт повышенную напряженность в политических и экономических отношениях, заставляет практически все страны менять свои энергетические стратегии.

Достаточно актуальным является вопрос исследования себестоимости производства энергии с учетом внедрения инновационных ресурсосберегающих технологий и возобновляемых источников энергии. Особый интерес и научную новизну имеет учет при данном варианте моделирования экологического состояния природной среды. Решение указанных вопросов обуславливает необходимость их исследования.

Сказанное выше позволяет рассмотреть несколько вариантов развития (сценариев) Крыма при выборе соотношения составляющих энергообеспечения и учете сохранения природной среды. Переход от традиционного энергообеспечения к альтернативному, как показал предыдущий анализ, обеспечивает:

1. Повышение эффективности и автономности энергообеспечения региона за счет снижения зависимости традиционных источников энергии от поставок энергоносителей.

2. Понижение уровня загрязнения окружающей среды вредными для здоровья людей и живых организмов отходами традиционного производства энергии (тепловые электростанции станции, котельные и другие объекты энергоснабжения, использующие углеводородное топливо).

3. Повышение уровня экологического сознания населения региона, делающего выбор в пользу более современных, безопасных, хотя и более дорогих альтернативных источников энергоснабжения (солнечная, ветровая и другие виды энергии).

4. Повышение надежности и (в перспективе) понижение стоимости альтернативных видов энергии по сравнению с традиционными видами.

В соответствии с этими целями разрабатываемая модель трансформации энергетического хозяйства должна обеспечивать прогнозы сценариев экономических процессов традиционного и альтернативного энергообеспечения в зависимости от интегральных показателей экологического состояния региона. В модели должна быть предусмотрена система экономических санкций, увеличивающих цены на те виды энергообеспечения, которые вызывают ухудшение экологического состояния природной среды.

Исходя из этих установок, в настоящем исследовании были разработаны следующие динамические модели:

- модель трансформации совокупного спроса на энергообеспечение;
- экономическая модель традиционного энергообеспечения;
- экономическая модель альтернативного энергообеспечения;
- интегральная модель экологического состояния региона и уровня экологического сознания населения;
- модель управления стоимостью потребляемых ресурсов в зависимости от экологического состояния природной среды.

В связи с этим целью данного исследования является создание модели себестоимости производства энергии в зависимости от экологического состояния природной среды. Модель реализована при помощи метода системной динамики (АВС).

Вопрос развития энергетики Крыма в экономическом аспекте – достаточно новое направление исследований. Разработкой этого вопроса на сегодня занимаются ученые Таврического национального университета им. В. И. Вернадского: В. А. Бокков, А. С. Мазинов, С. А. Карпенко; ученые Национальной академии природного и курортного строительства – Н. М. Ветрова, Э. А. Бекиров.

В рамках исследований указанных авторов в 2007-2010 годах была получена:

- модель развития солнечной энергетики в Крыму на базе метода системной динамики (АВС);
- оценка эффективности применения ВИЭ при постройке новых жилых комплексов на территории Крыма;
- модель использования возобновляемой энергии в рекреационных учреждениях;
- модель энергоэффективного дома;
- модель оптимизации транспортных потоков с целью экономии энергоресурсов;

- модель сбора и обработки актинометрических данных;
- модель интегрального использования ресурсов альтернативной энергетики.

Показаны общие направления модернизации энергетики для обеспечения устойчивого развития региона [3; 6].

Но данные модели имеют прежде всего геоэкологическую и техническую составляющую. Необходимым является внедрение в указанные модели экономической составляющей и дальнейшее развитие именно экономического моделирования показателей внедрения возобновляемых источников энергии в хозяйственный комплекс.

Себестоимость производства энергии формируется ценами на ресурсы, которые потребляют производители энергии. Динамика цен на каждую из трех введенных выше категорий ресурсов производства энергии может быть представлена уравнениями, аналогичными для традиционной и альтернативной энергетики. Для традиционной энергетики они имеют следующие уравнения.

Цена первого вида ресурсов

$$\frac{dr_1^T}{dt} = r_1^T \left\{ 1 - 2 \left[ r_1^T - a_{r_1 T} r_1^{*T} \right] \right\}, \quad (1)$$

где  $r_1^{*T}$  – параметр, определяющий текущую рыночную стоимость создания и эксплуатации системы традиционного энергообеспечения в пересчете на 1 квт/час.

Цена второго вида ресурсов

$$\frac{dr_2^T}{dt} = r_2^T \left\{ 1 - 2 \left[ r_2^T - a_{r_2 T} r_2^{*T} \right] \right\}, \quad (2)$$

где  $r_2^{*T}$  – параметр, определяющий текущую рыночную стоимость приобретения и доставки энергоносителей (углеводородное топливо) для системы традиционного энергообеспечения в пересчете на 1 квт/час.

Уравнение для третьего «природоохранного» вида ресурсов

$$\frac{dr_3^T}{dt} = r_3^T \left\{ 1 - 2 \left[ r_3^T - a_{3Pl} Pl - a_{r_3 T} r_3^{*T} \right] \right\}, \quad (3)$$

где  $a_{3Pl} Pl$  определяет размер экологического штрафа за загрязнение природной среды, а  $r_3^{*T}$  – параметр, который определяет размер природоохранного налога в пересчете на 1 квт/час.

Для альтернативной энергетики уравнения динамики цен на ресурсы имеют аналогичные представления:

$$\frac{dr_1^A}{dt} = r_1^A \left\{ 1 - 2 \left[ r_1^A - a_{r_1 A} r_1^{*A} \right] \right\}, \quad (4)$$

где  $r_1^{*A}$  – параметр, определяющий текущую рыночную стоимость создания и эксплуатации системы альтернативного энергообеспечения в пересчете на 1 квт/час;

$$\frac{dr_2^A}{dt} = r_2^A \left\{ 1 - 2 \left[ r_2^A - a_{r_2^A} r_2^{*A} \right] \right\}, \quad (5)$$

$r_2^{*A}$  – параметр, определяющий текущую рыночную стоимость аккумуляции солнечной энергии для системы альтернативного энергообеспечения в пересчете на 1 квт/час;

$$\frac{dr_3^A}{dt} = r_3^A \left\{ 1 - 2 \left[ r_3^A - a_{r_3^A} r_3^{*A} \right] \right\}, \quad (6)$$

$r_3^{*A}$  – параметр, определяющий текущий природоохранный налог для системы альтернативного энергообеспечения в пересчете на 1 квт/час.

**Компьютерная реализация формульного алгоритма управления балансом производства и потребления энергии.** Разработанная совокупность моделей представляет собой сложный формульный алгоритм управления эколого-экономическими процессами, предназначенный для поиска инновационной стратегии развития региона в области энергообеспечения. Компьютерная реализация этого алгоритма потребовала значительных усилий для его отладки. При проведении имитационных экспериментов по прогнозированию процессов развития необходимо задать большое количество параметров управления, которые входят в модели, а также коэффициентов влияний, связывающих между собой прогнозируемые процессы. Задание этих параметров означает привязку компьютерного алгоритма к конкретному региону.

Заметим, что анализ управления развитием конкретного региона не мог быть выполнен в рамках исследований по данной теме, так как привязка (инициализация) алгоритма для управления конкретным регионом требует сбора и обобщения большого объема статистической и экспертной информации об экономических процессах в данном регионе и о тенденциях в изменении его экологического состояния. Тем не менее, построенный формульный алгоритм демонстрирует возможности прогноза сценариев развития энергообеспечения региона. Он позволяет также сформулировать задания на подготовку необходимой информации для любого конкретного района. Исходя из изложенного выше, формульный алгоритм управления был применен в режиме имитационного эксперимента.

Рассмотрим пример использования алгоритма при следующих условиях, характеризующих производство традиционной энергии в регионе.

Выбор таких параметров означает, что объектам традиционной энергетики для производства единицы энергии необходимо было иметь  $y_1 = 1,3$  единиц ресурсов первого вида (инфраструктура и эксплуатация объекта) при средней рыночной цене этого вида ресурса  $r_{1 \text{ ср.}} = 0,8$  усл. ед.,  $y_2 = 3,0$  единиц ресурсов второго вида (покупка и доставка углеводородного топлива) при средней рыночной цене  $r_{2 \text{ ср.}} = 0,6$  усл. ед. и  $y_3 = 2,0$  единиц ресурсов третьего вида (природоохранные платежи) при средней ставке налогообложения  $r_{3 \text{ ср.}} = 1,1$  усл. ед. Средняя цена производства единицы традиционной энергии была принята  $P_{\text{ср.}} = 10$  усл. ед., а средний совокуп-

ный спрос на энергию составлял в регионе  $D_{cp} = 42,0$  единицы условных энергетических мощностей. Объемы средств, инвестируемых в развитие традиционной энергетики, были ограничены предельно допустимой величиной накопленного кредита  $H_3^* = 3000$  усл. ед. Процент погашения этого кредита был установлен в размере 5 % от текущих оборотных средств отрасли ( $\theta = 0,05$ ).

Разработанная совокупность моделей представляет собой сложный формульный алгоритм управления эколого-экономическими процессами, предназначенный для поиска инновационной стратегии развития региона в области энергообеспечения. Компьютерная реализация этого алгоритма потребовала значительных усилий для его отладки. При проведении имитационных экспериментов по прогнозированию процессов развития необходимо задать большое количество параметров управления, которые входят в модели, а также коэффициентов влияний, связывающих между собой прогнозируемые процессы. Задание этих параметров означает привязку компьютерного алгоритма к конкретному региону.

**Выводы.** Для того, чтобы реализовать идею управления балансом производства энергии в регионе необходимо иметь возможность прогнозировать сценарии эколого-экономических процессов при различных вариантах природоохранных действий. С этой целью была разработана информационная технология управления, которая включала в себя 5 динамических моделей, построенных *ABC*-методом:

- модель трансформации совокупного спроса на энергообеспечение;
- экономическая модель традиционного энергообеспечения;
- экономическая модель альтернативного энергообеспечения;
- интегральная модель экологического состояния региона и уровня экологического сознания населения;
- модель управления стоимостью потребляемых ресурсов в зависимости от экологического состояния природной среды.

Была выполнена компьютерная реализация формульных алгоритмов этих пяти моделей и объединение их в общую систему управления балансом производства и потребления энергии. Построенная система управления применена при проведении четырех имитационных экспериментов, в ходе которых были получены сценарии процессов развития.

Анализ предложенных вариантов управления эколого-экономическим балансом использования возобновляемой энергии в общем энергетическом бюджете позволяет использовать их при стратегическом планировании развития региона.

Разработанная имитационная модель (метод *ABC*) позволяет прогнозировать сценарии спроса на традиционную и альтернативную энергию в регионе при контролируемом уровне загрязнения окружающей среды.

Построенная информационная технология управления энергообеспечением региона может быть применена в любом регионе.

Результаты проведенных исследований приводят к следующим выводам:

1. Разработанная имитационная модель (метод *ABC*) трансформации хозяйства региона на базе системы территориального мониторинга и получения постоянно обновляемой информации позволяет прогнозировать сценарии спроса на традиционную и альтернативную энергию в регионе при контролируемом уровне загрязнения окружающей среды.

2. Анализ предложенных вариантов управления эколого-экономическим балансом использования возобновляемой энергии в общем энергетическом бюджете позволяет использовать их при стратегическом планировании развития региона.

3. Построенная информационная технология управления энергообеспечением региона обладает достаточной общностью: она может быть применена в любом регионе при условии предварительного анализа данных наблюдений об эколого-экономических процессах развития конкретного региона для идентификации коэффициентов, используемых в уравнениях этой технологии.

### Библиографические ссылки и примечания

1. Тимченко И. Е. Системный анализ ресурсных свойств природной среды / И. Е. Тимченко, Е. М. Игумнова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа: сб. науч. тр. / НАН Украины, МГИ, ИГН, ОФ ИнБИОМ: редкол.: Иванов В. А. (гл.ред). – 2003. – Вып. 14. – 235 с.
2. Тимченко И. Е. Эколого-экономическая оценка ресурсных свойств морской среды / И. Е. Тимченко, Е. М. Игумнова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа Украины. – Севастополь, 2005. – Вып. 13. – С. 274–290.
3. Тимченко И. Е. Системный менеджмент и АВС-технологии устойчивого развития / И. Е. Тимченко, Е. М. Игумнова, И. И. Тимченко. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004. – 201 с.
4. Тимченко И.Е. Системный менеджмент и АВС-технологии устойчивого развития / И.Е. Тимченко, Е.М. Игумнова, И.И. Тимченко. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000. – 225 с.
5. Тимченко И. Е. Динамическая модель экономической эффективности системы теплоснабжения, использующей солнечную энергию / И. Е. Тимченко, В. О. Смирнов // Разработка инновационной стратегии развития региона на базе возобновляемых источников энергии, ресурсо- и энергосбережения: материалы научных семинаров КНЦ НАН и МОН Украины. – Симферополь: ДОЛЯ, 2008. – С. 26–34.
6. Тимченко З. В. Водные ресурсы и экологическое состояние малых рек Крыма / З. В. Тимченко. – Симферополь: ДОЛЯ, 2002. – 152 с.

*Надійшла до редакції 24.10.2011*