

# МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВАЛОВОГО ВНУТРЕННЕГО ПРОДУКТА

Л.А. Сошникова

Для определения экологически скорректированных макроэкономических показателей и оценки степени устойчивости развития национальной экономики в аналитической практике используется несколько видов моделей, базирующихся на межотраслевых связях. Основу этих моделей составляют традиционные балансовые равенства модели Леонтьева. Разработанная автором статьи методика моделирования экологических составляющих валового внутреннего продукта также базируется на использовании классической модели «затраты–выпуск», расширенной за счет выделения деятельности по переработке вредных отходов производства и конечного использования товаров и услуг. Рассматриваемые далее модели могут быть использованы для оценки воздействия мероприятий по ликвидации загрязнения окружающей среды на величину валового выпуска и валового внутреннего продукта. В моделях взаимосвязи объемов производства (потребления) с показателями загрязнения окружающей среды могут быть реализованы различные методики определения экологически скорректированного ВВП в зависимости от способа учета экологического фактора (см. рисунок).

1. *Использование упрощенной модели «затраты–выпуск», в которой учитываются лишь объемы загрязнения, возникающего в результате производственной деятельности (блоки 1.1.1–1.2.2)*

2. *Использование расширенной модели «затраты–выпуск» за счет дополнительного включения загрязнения, возникающего в результате конечного использования продукции экономической деятельности (блоки 2.1.1–2.2.2)*

Как видно на рисунке, отдельные элементы моделей повторяются для первого и второго блоков (без учета загрязнения в процессе конечного использования и с учетом такого загрязнения). В обоих вариантах возможны различные спецификации модели, определяемые полнотой учета факторов загрязнения окружающей среды. Различия в составе моделей возникают в зависимости от того, учитывается ли

полезная продукция, которая может образоваться в ходе утилизации отходов, и учитывается ли загрязнение окружающей среды, которое возникает при утилизации отходов. Из всех модификаций модели, представленных на рисунке, наиболее простой является модель следующего вида (блок 1.1.1):

$$\begin{cases} X = A_{11}X + A_{12}X_w + Y \\ X_w = A_{21}X - X_{wn} \end{cases}, \quad (1)$$

где:  $X$  – выпуск продукции экономической деятельности отраслей;

$Y$  – конечное использование продукции экономической деятельности;

$X_w$  – объем возникающих вредных отходов, подлежащих уничтожению;

$X_{wn}$  – объем неликвидированных вредных отходов;

$A_{11}X$  – затраты ресурсов на производство продукции экономической деятельности;

$A_{12}X_w$  – затраты ресурсов на ликвидацию вредных отходов;

$A_{21}X$  – объем вредных отходов, образующихся в процессе экономической деятельности.

В модели (1) учитывается отвлечение ресурсов на ликвидацию загрязнения окружающей среды, образовавшееся только в процессе производственной деятельности. Впервые такая модель была описана в работе В. Леонтьева, Д. Форда [1]. По сравнению с традиционной моделью межотраслевого баланса она содержит балансовые равенства, характеризующие чисто экономическую и природоохранную деятельности отраслей (деятельность по ликвидации вредных отходов).

Более простые модификации модели не учитывают загрязнения окружающей среды, возникающего в процессе конечного использования продукции чисто экономической деятельности. Предполагается, что все вредные отходы и выбросы загрязняющих веществ связаны только с производством товаров и услуг. К таким моделям следует отнести модели, представленные в блоках 1.1.1–1.2.2 (см. рис.).

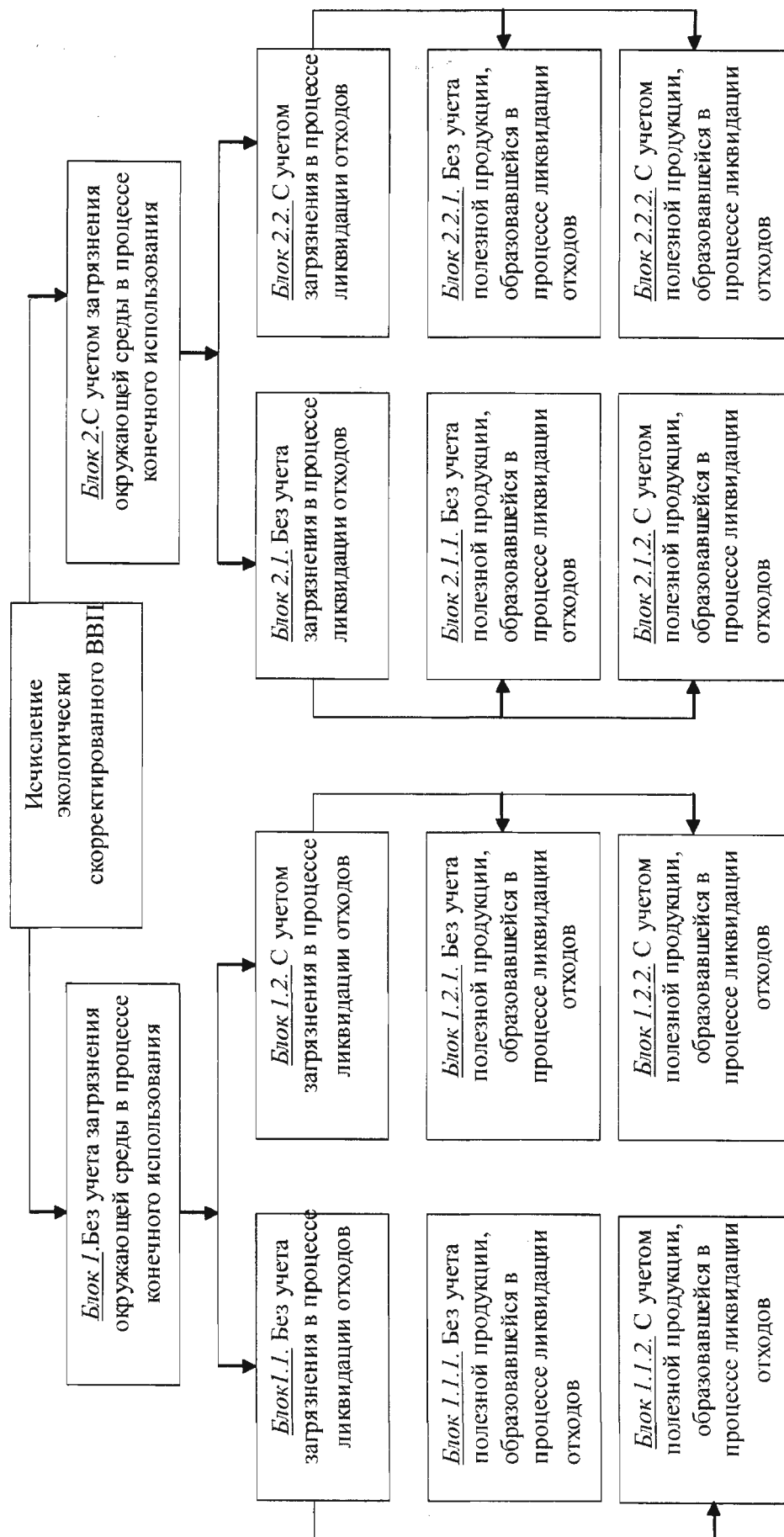


Рис. Возможные варианты модифицированной модели МОБ с учетом деятельности по ликвидации загрязнения окружающей среды вредными отходами

Предложенная автором модификация модели (модель 2) является наиболее информативной с точки зрения наличия всех экологических составляющих (блок 2.2.2). При помощи этой модели экологически скорректированный ВВП ( $Y$ ) определяется с учетом загрязнения окружающей среды, возникающего в процессе производства ( $A_{21}X$ ) и в процессе конечного использования товаров и услуг ( $A_{23}Y$ ), а также с учетом образовавшейся полезной продукции ( $A_{13}X_w$ ) и вредных отходов в процессе утилизации отходов  $A_{22}X_w$ :

$$\begin{cases} X = A_{11}X + A_{12}X_w + Y \\ X_w = A_{21}X + A_{22}X_w + A_{23}Y - X_{wn} \end{cases} \quad (2)$$

Для каждой из этих моделей актуальной является проблема поиска неотрицательных решений, т.е. векторов  $X$  и  $X_w$ , при заданных неотрицательных векторах конечного использования ( $Y$ ) и неликвидированных загрязняющих веществ ( $X_{wn}$ ). Рассмотрим более подробно модель (3), которая базируется на предположениях о том, что существуют  $n$  видов экономической деятельности (чистых отраслей) и  $m$  видов деятельности по ликвидации загрязнения:

$$\begin{cases} X = A_{11}X + A_{12}X_w + Y \\ X_w = A_{21}X + A_{22}X_w - X_{wn} \end{cases} \quad X \geq 0 \text{ и } X_w \geq 0, \quad (3)$$

где  $A_{11}$  – матрица коэффициентов прямых затрат для экономической деятельности отраслей (размерностью  $n \times n$ );

$A_{12}$  – матрица коэффициентов прямых затрат, связанных с ликвидацией загрязнения (размерностью  $n \times m$ );

$A_{21}$  – матрица удельного образования вредных отходов, возникающих при производстве валового выпуска отраслей  $X$  (размерностью  $m \times n$ );

$A_{22}$  – матрица удельного образования вредных отходов, возникающих в процессе ликвидации загрязнения в объеме  $X_w$  (размерностью  $m \times m$ );

Перепишем выражение (3) в следующем виде:

$$Z = AZ + F, \quad (4)$$

$$Z = (I - A)^{-1} F,$$

где  $F = (Y; -X_{wn})^T \in R^{n+m}$ ,

$$Z = (X, X_w)^T \in R^{n+m}, \quad A = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix}$$

В работе В.А. Галкиной, А.Д. Омаровой [2] доказано, что модель (4) имеет единственное неотрицательное решение  $Z$  при

любых заданных значениях вектора  $F = (Y; -X_{wn})^T \in R^{n+m}$ . Следовательно, модель данного вида может быть использована для прогнозирования объема выпуска отраслей и объема образования вредных отходов при заданных уровнях конечного использования ( $Y$ ) и при социально допустимых уровнях загрязнения ( $X_{wn}$ ).

Рассмотрим модель, состоящую из двух балансовых равенств:

$$X = A_{11}X + A_{12}X_w + Y \quad (5)$$

$$X_w = A_{21}X + A_{22}X_w + A_{23}Y - X_{wn}. \quad (6)$$

Выражение (5) характеризует направления использования продукции экономической деятельности ( $X$ ):

где:  $A_{11}X$  – использование произведенной продукции экономической деятельности;

$A_{12}X_w$  – использование продукции экономической деятельности в процессе ликвидации загрязнения;

$Y$  – конечное использование продукции экономической деятельности.

Выражение (6) показывает общее количество ликвидируемых вредных отходов  $X_w$ , которое равно количеству вредных отходов, образовавшихся в результате экономической деятельности ( $A_{21}X$ ), количеству вредных отходов, образовавшихся в результате ликвидации загрязнения ( $A_{22}X_w$ ) и количеству вредных отходов, образовавшихся в результате конечного использования продукции экономической деятельности ( $A_{23}Y$ ), за вычетом неликвидируемых вредных отходов ( $X_{wn}$ ).

Оба выражения можно записать следующим образом:

$$\begin{bmatrix} X \\ X_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ X_w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y \\ A_{23}Y - X_{wn} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Без учета ликвидации загрязнения модель (5) примет вид:

$$\tilde{X} = A\tilde{X} + \tilde{Y}. \quad (8)$$

При этом  $X$  и  $Y$  не равны  $\tilde{X}$  и  $\tilde{Y}$ . Степень их расхождения зависит от двух факторов:

- элементов матриц  $A_{21}, A_{22}, A_{23}$ , определяющих величину загрязнения, подлежащего устранению (т.е. объем выпуска деятельности по ликвидации загрязнения);
- коэффициентов прямых затрат деятельности по ликвидации загрязнения (матрица  $A_{12}$ ), которые характеризуют объем продукции, используемой в качестве вводимых ресурсов в деятельности по ликвидации загрязнения (и таким образом извлекаемой из конечного использования). Следовательно,

в матрицу коэффициентов прямых затрат  $A_{11}$  включены уже экологически скорректированные технологические коэффициенты.

Несмотря на сложность проблем, препятствующих реализации аналитической концепции [3], автором статьи сделана попытка расчета экологически скорректированного ВВП Республики Беларусь. В связи с тем, что на основании данных официальной статистики не представляется возможным рассчитать приведенные выше матрицы и векторы, часть расчетов пришлось сделать с некоторыми допущениями и оговорками. Далее излагается процесс подготовки информации необходимой для вычисления равенств (5) и (6) на практике.

Для вычисления матрицы коэффициентов прямых затрат  $A_{11}$  в чисто экономической деятельности ( $n \times n$ ) необходимо модифицировать саму таблицу «затраты–выпуск», выделив из промежуточного потребления и валовой добавленной стоимости каждой чистой отрасли текущие затраты, связанные с природоохранной деятельностью (затраты на охрану и рациональное использование водных ресурсов, атмосферного воздуха, затраты на обращение с отходами, экологические налоги и платежи), т.е. определить и учесть структуру промежуточного потребления и валовой добавленной стоимости, связанных с охраной окружающей среды.

На основе годовых отчетов предприятий о затратах на производство и реализацию продукции (ф. 5-3) и отчетов о текущих затратах на охрану окружающей среды (ф. 4 ОС) для каждой чистой отрасли\* были вычислены затраты, непосредственно связанные только с ее экономической деятельностью (без природоохранных затрат). Для этого сами природоохранные затраты в структуре промежуточного потребления были распределены и изъяты пропорционально структуре затрат соответствующей отрасли

Следующая проблема возникает при расчете вектора деятельности по ликвидации загрязнения ( $X_w$  – размерностью  $(m \times 1)$ ), измеряемой в млн куб.м или в тыс. тонн ликвидируемых загрязняющих веществ. Размерность этого вектора зависит от количества групп рассматриваемых вредных отходов или направлений природоохранной деятельности. В аналитических расчетах нами использовались три направления образования вредных отходов: сброс сточной воды в реки и озера, выбросы

в атмосферу загрязняющих веществ и образование твердых производственных отходов. При использовании данных о количестве переработанных твердых отходов учитывался не период их образования (отчетный или предшествующие), а период переработки, что, строго говоря, приводит к несопоставимости их объемов с показателями чисто экономической деятельности в анализируемом отчетном периоде. Следует также отметить, что в условиях действующей системы статистической отчетности не представляется возможным учесть ту часть деятельности по ликвидации загрязнения, которая приводит только к частичному обезвреживанию отходов, а не к полной их ликвидации.

Вектор неликвидируемых вредных отходов  $X_{wn}$ , как и количество ликвидируемых вредных отходов, определяется на основе данных сводных статистических отчетов Минприроды по различным видам отходов (сброс сточных вод, выбросы в атмосферу загрязняющих веществ и образование твердых промышленных отходов).

Достаточно сложным является расчет матрицы коэффициентов загрязнения в результате экономической деятельности  $A_{21} - (m \times n)$ , отражающей количество вредных отходов (тыс. тонн), произведенных на единицу продукции (млн руб.) чисто экономической деятельности. В статистической отчетности по всем видам твердых отходов приводится количество произведенных и ликвидируемых отходов как результат всех видов деятельности предприятия, в том числе и природоохранной. Если предполагать, что деятельность по ликвидации загрязнения практически не приводит к образованию отходов, то все возникающие вредные отходы можно отнести только к экономической деятельности и учитывать это при вычислении элементов матрицы  $A_{21}$ .

Еще одна матрица, необходимая для определения экологического ВВП, – это матрица  $A_{22}$ , отражающая количество образовавшихся вредных отходов на единицу ликвидируемых вредных отходов, т.е. на единицу продукции, произведенной в результате ликвидации загрязнения. Так как официальная статистика не располагает необходимыми данными для определения коэффициентов загрязнения в результате деятельности по ликвидации загрязнения, нами использованы средние удельные показатели по отраслям, рассчитанные на основе данных сводных статистических отчетов

\* В работе использован перечень агрегированных отраслей, применяемый для построения межотраслевого баланса Республики Беларусь.

об образовании, использовании и размещении отходов, представляемых Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Наиболее важной и сложной с точки зрения ее построения оказалась матрица коэффициентов прямых затрат деятельности по ликвидации загрязнения  $A_{12}$ , отражающая затраты продукции, произведенной в результате чисто экономической деятельности (млн руб), на единицу продукции деятельности по ликвидации загрязнения (на тыс. тонн ликвидируемых вредных отходов).

Сами коэффициенты прямых затрат по своей сути отличаются от аналогичных показателей, исчисляемых для чисто экономической деятельности, поскольку являются не относительными величинами структуры, а относительными величинами интенсивности. Они рассчитываются путем деления промежуточного потребления продукции чисто экономической деятельности отрасли в процессе деятельности по ликвидации загрязнения (млн руб.) на объем выпуска этой деятельности (например, тыс. тонн). В том случае, когда выпуск

деятельности по ликвидации загрязнения будет выражен в стоимостных измерителях, экономический смысл этих коэффициентов будет такой же, как и в традиционных таблицах «затраты–выпуск». Следовательно, это будут коэффициенты прямых затрат выпуска деятельности по ликвидации загрязнения.

Решение перечисленных выше проблем, связанных с формированием необходимой базы данных для реализации предложенных нами модифицированных моделей межотраслевого баланса, прежде всего, предполагает получение дополнительной статистической информации о затратах по обращению с отходами, а также о структуре промежуточного потребления в процессе природоохранной деятельности отраслей. Стоимостная оценка выпуска деятельности предприятий по ликвидации загрязнения требует совершенствования первичного и бухгалтерского учета текущих затрат на охрану окружающей среды. Это позволит упорядочить учет затрат предприятий и отраслей на природоохранную деятельность и тем самым более точно оценивать ее объемы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Леонтьев, В., Форд, Д. Межотраслевой анализ воздействия структуры экономики на окружающую среду // Экономика и мат. методы. 1972. Т. 8. Вып. 3
2. Галкина, В.А., Омарова, А.Д. Еще раз о существовании неотрицательного решения у модели Леонтьева–Форда // Труды Северо-Кавказского государственного технологического университета. Серия «Физико-химическая». Вып. 6. <http://science.ncstu.ru/articles/phys-chemistry/6/>
3. Сошникова, Л.А. Моделирование зависимости производства и природоохранной деятельности на основе межотраслевого баланса // Вопросы статистики». 2006. №7.

#### РЕЗЮМЕ

Рассматривается методика моделирования экологических составляющих валового внутреннего продукта, которая базируется на использовании модели «затраты–выпуск», расширенной за счет выделения деятельности по переработке вредных отходов, образующихся в процессе производства и конечного использования товаров и услуг. Данная методика позволяет определить экологически скорректированный валовой внутренний продукт с учетом образовавшейся полезной продукции и загрязнения в процессе утилизации отходов. Перечислены некоторые проблемы, связанные с формированием необходимой базы статистических данных для реализации предложенных автором моделей межотраслевого баланса.

#### SUMMARY

The method of modelling ecological constituents of GDP is considered. It is based on the «inputs-output» model expanded by singling out the activity on harmful wastes processing left after production process and final use of the goods and services. The given method allows to define the ecologically corrected GDP taking into account the actual production and pollution during waste utilization. Several problems, connected with formation of necessary statistical data base are listed. This base will be used for implementation of inter-branch balance models suggested by the author.

\* Статья поступила в редакцию 7 мая 2007 г.