

где  $K^t$  — величина физического капитала в период  $t$ ;  $K^{t-1}$  — величина физического капитала в период  $t-1$ ;  $V^t$  — стоимость созданного нового физического капитала в результате освоения инвестиций в период  $t$ ;  $\mu^t$  — доля выбытия физического капитала в период  $t$  (в связи с износом).

При этом

$$V^t = f[K^{t-1}, (1-a)X^t p_k], \quad (8)$$

где  $p_k$  — экзогенно задаваемая доля валового накопления основного капитала в ВВП.

Приведенные выше соотношения, отражающие динамику основных составляющих национального капитала, должны также учитывать лаги, имеющие место в управлении воспроизводственными процессами в экономической системе.

Кроме того, описанный выше подход предполагает выполнение следующих неравенств, обеспечивающих определение условий устойчивого роста:

$$d(R + L_k) / dt > 0, \quad (9)$$

$$d^2(R + L_k) / dt^2 < 0. \quad (10)$$

Реализация данной концептуальной модели позволит определить в имитационном режиме или путем проведения оптимизационных расчетов такие значения параметров  $p_r$ ,  $p_l$  и  $p_k$ , которые будут способствовать устойчивому росту с точки зрения принятой системы критериев.

Как видно, целевым параметром модели является не величина ВВП, а приращение национального капитала. Как следствие, по сравнению с традиционным подходом предполагается снижение нормы прибыли на физический капитал за счет увеличения амортизации. Это обусловлено необходимостью обеспечить воспроизводство не только традиционных экономических фондов (здания, сооружения, оборудование и пр.), но и природно-ресурсного потенциала.

**А.А. КРУКОВА**

---

**ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ  
ОТРАСЛЕВОЙ СТРУКТУРЫ  
БЕЛОРУССКОЙ ЭКОНОМИКИ С УЧЕТОМ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ**

---

При составлении годовых прогнозов социально-экономического развития Республики Беларусь одним из основных принципов формирования целевых показателей является получение максимально возможного валового внутреннего продукта (ВВП). В попытке выяснить, справедлив ли этот принцип в отношении всех отраслей, были разработаны и реализованы двухкритериальная модель максимизации ВВП с учетом рационального использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) [1] и трехкритериальная модель максимизации ВВП, минимизации потребления ТЭР и максимизации внешнеторгового

---

*Анастасия Анатольевна КРУКОВА, аспирантка кафедры прикладной математики и экономической кибернетики Белорусского государственного экономического университета.*

сальдо [2]. Однако исторически сложившееся доминирование экономических приоритетов общественного развития при недостаточном учете иных компонентов национального благосостояния привело к разбалансированности различных подсистем (экономической и экологической) в единой системе. Для устранения этого дисбаланса к середине 80-х гг. XX в. на смену концепции охраны природы (согласно которой критерием эффективности хозяйственных систем является получение максимальных экономических результатов при минимальных затратах и минимальных нарушениях природной среды) приходит концепция общественного развития в границах заданной нагрузки на природные системы, т.е. с учетом экологических ограничений (основной элемент в рамках этой концепции — поиск способов хозяйствования, предотвращающих загрязнение окружающей среды) [3]. Одним из первых и главных шагов Республики Беларусь на пути формирования новых целей и приоритетов в рамках новой концепции стало постулирование в Национальной стратегии социально-экономического развития [4] и других документах принципов и приоритетов устойчивого развития социальной, экономической и экологической сфер. В соответствии с НСУР экономическая система страны должна быть эффективной, социально ориентированной, конкурентоспособной, ресурсо- и энергоэффективной и экологозащитной. Для определения возможности наращивания объемов ВВП и снижения уровня потребления ТЭР с учетом экологических приоритетов развития национальной экономики нами предлагается модифицировать исходную двухкритериальную модель [1] за счет введения ограничений, связанных с загрязнением атмосферного воздуха, и определения индивидуальных темпов прироста выпуска для каждой отрасли.

**Математическая модель.** В ее основе есть две группы условий: критерии оптимальности, формализующие приоритетные направления социально-экономического развития (максимизация ВВП и минимизация потребления ТЭР); условия или ограничения модели, определяющие множество допустимых решений и формализующие предположения об ограниченности производственных возможностей экономики. В предположении о пропорциональности затрат факторов производства и объемов загрязняющих веществ объемам производства построена следующая двухкритериальная модель:

$$\sum_{i=1}^n Y_i \rightarrow \max; \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n (a_{1j} + a_{2j})x_j \rightarrow \min; \quad (2)$$

$$Ax + y = x; \quad (3)$$

$$Cx \leq c; \quad (4)$$

$$Qx \leq q; \quad (5)$$

$$x \leq (E + \alpha)\bar{x}, \quad x \geq (E - \alpha)\bar{x}; \quad (6)$$

$$x \leq 0, y_i \leq 0 \forall i \in N_1, y_i \geq 0 \forall i \in N_2, \quad (7)$$

где  $A = \|a_{ij}\|_n$  — матрица коэффициентов прямых затрат ( $n$  — число отраслей);  $a_{1j}, a_{2j}$  — прямые затраты электро-, теплоэнергии и продукции топливной промышленности на производство единицы валовой продукции  $j$ -й отрасли;  $E$  — единичная матрица порядка  $n$ ;  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  — вектор выпусков отраслей (верхний индекс  $T$  означает транспонирование);  $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$  — век-

тор конечного использования (КИ) продукции отраслей\*;  $N_1(N_2)$  — множество отраслей, для которых КИ характеризуется положительным (отрицательным) знаком в анализируемом периоде ( $N_1 \cup N_2 = N, N_1 \cap N_2 = \emptyset, N$  — множество всех отраслей)\*\*;  $C = \|c_{kj}\|_{mn}$  — матрица коэффициентов прямых затрат факторов производства ( $m$  — количество рассматриваемых факторов производства), которые характеризуют количество  $k$ -го фактора производства, затрачиваемого в отрасли  $j$  при выпуске единицы ее продукции [6];  $c = (c_1, c_2, \dots, c_m)^T$  — вектор объемов факторов производства;  $Q = \|q_{rj}\|_{ln}$  — матрица коэффициентов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, элемент  $q_{rj}$  которой показывает количество загрязняющих веществ вида  $r$ , вносимых в окружающую среду при производстве единицы продукции  $j$ -й отрасли ( $l$  — количество рассматриваемых видов загрязняющих веществ);  $q = (q_1, q_2, \dots, q_l)^T$  — вектор выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;  $\alpha = \|\alpha_{ij}\|_n$  — диагональная матрица темпов прироста выпуска отраслей, в которой  $\alpha_{ij} = 0$  при  $\alpha_{ij} = \alpha_i$ , а при  $i = j$  — это темп прироста выпуска для  $i$ -й отрасли в анализируемом периоде, который определяется следующим образом:  $\alpha_i = |\bar{x}_i - \tilde{x}_i| / \bar{x}_i$ ;  $\bar{x} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)^T$  — вектор выпусков отраслей за анализируемый период,  $\tilde{x} = (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n)^T$  — вектор выпусков продукции отраслей в сопоставимых ценах за базовый период.

В дальнейшем будем предполагать, что матрица  $A$  продуктивна. Тогда уравнение (3) можно записать в виде  $x = (E - A)^{-1}y$ . Введем следующие обозначения:

$B = (E - A)^{-1}$ ;  $[By]_j$  —  $j$ -й элемент вектора  $By$ ;  $b_{jk}$  — элемент матрицы  $B$ ;  $e = (1, 1, \dots, 1)$ ;

$$\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n); \beta_k = \sum_{j=1}^n (a_1 + a_{2j}) b_{jk}; k = 1, 2, \dots, n.$$

В этих обозначениях модель (1) — (7) можно записать в виде:

$$f_1(y) = \langle -e, y^T \rangle \rightarrow \min; \quad (8)$$

$$f_2(y) = \langle \beta, y^T \rangle \rightarrow \min; \quad (9)$$

$$C'y \leq c', y_i \geq 0 \forall i \in N_1, y_i \leq 0 \forall i \in N_2, \quad (10)$$

$$\text{где } C' = \begin{bmatrix} CW \\ QW \\ W \\ -W \end{bmatrix}, c' = \begin{bmatrix} c \\ q \\ (E + \alpha)\bar{x} \\ -(E - \alpha)\bar{x} \end{bmatrix}.$$

\*В данной работе элементы вектора КИ определяются так, как и в классической модели МОБ [5], т.е. каждый элемент — как сумма поставок продукции отрасли для конечного потребления, валового накопления и сальдо экспорта-импорта. Это достаточно важно для дальнейшего изложения, поскольку для отраслей, продукция которых импортируется в значительных объемах, отрицательное экспортно-импортное сальдо может превышать сумму конечного потребления и валового накопления, поэтому соответствующий элемент  $y_i$  вектора  $y$  может принимать отрицательные значения.

\*\* Ограничения на знаки отраслевых объемов КИ формировались на основе анализа тенденций, сложившихся в структуре КИ за 1994—2003 гг. Отрасли, демонстрирующие положительные (отрицательные) значения  $y_i$  на протяжении всего периода были отнесены в группу отраслей  $N_1$  ( $N_2$ ). Отрасли, в которых постоянства в знаках не наблюдалось в течение этого периода, относились в группу  $N_1$  ( $N_2$ ) на основе анализа сложившихся тенденций в периоды, наиболее близкие к периоду моделирования. Так, группа  $N_1$  представлена отраслями “Строительство”, “Сельское хозяйство”, “Транспорт” и т.д.; в группу  $N_2$  (т.е. в группу отраслей, в которых отрицательное экспортно-импортное сальдо превышает сумму конечного потребления и валового накопления) вошли отрасли “Электроэнергия и теплоэнергия”, “Топливная промышленность” и др.

Одним из основных в теории решений при наличии нескольких критериев является понятие оптимального по Парето или эффективного решения. Оно представляет собой обобщение понятия точки экстремума на случай нескольких функций [7]: решение парето-оптимально, если значение любого из критериев можно улучшить лишь за счет ухудшения значений хотя бы одного из остальных критериев. Множество эффективных векторов КИ (или множество Парето) для модели (8) – (10) определяется следующим образом:

$$P = \{y: C'y \leq c', y_i \geq 0 \forall i \in N_1, Y_i \leq 0 \forall i \in N_2, \pi(y) = \emptyset\},$$

где  $\pi(y) = \{y': C'y' \leq c', y'_i \geq 0 \forall i \in N_1, y'_i \leq 0 \forall i \in N_2, f(y') \leq f(y), f(y') \neq f(y)\}$ .

Иными словами, вектор КИ  $y$  является парето-оптимальным (эффективным), если не существует такого вектора  $y'$ , для которого значение каждого из критериев  $f_1$  и  $f_2$  не хуже, чем по варианту  $y$  и хотя бы по одному из этих критериев лучше.

Для нахождения эффективных решений многокритериальная задача обычно подвергается скаляризации, которая состоит в следующем: фиксируется функция-свертка, называемая также обобщенным критерием, и решается скаляризованная экстремальная задача. Для расчета эффективных векторов КИ в двухкритериальной модели (8)–(10) будем использовать один из самых распространенных методов параметрической скаляризации, основанный на линейном взвешивании частных критериев. Скаляризованная задача, построенная с помощью метода линейной свертки критериев, применительно к двухкритериальной модели (8)–(10) записывается в виде параметрической однокритериальной задачи:

$$\begin{aligned} \Phi(\lambda, y) &= \lambda f_1(y) + (1 - \lambda)f_2(y) \rightarrow \min, \\ C'y \leq c', y_i &\geq 0 \quad \forall i \in N_1, y_i \leq 0 \quad \forall i \in N_2, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $\lambda \in (0; 1)$  – степень предпочтительности первого критерия относительно второго.

В терминах данной модели можно говорить, что всякий вектор КИ  $y''$  – парето-оптимальный для задачи (8)–(10) тогда и только тогда, когда существует такое  $\lambda \in (0; 1)$ , при котором функция достигает наименьшего значения на  $y''$ . Таким образом, для задачи (11), варьируя значения  $\lambda$  от 0 до 1 ( $\lambda \neq 0$  и  $\lambda \neq 1$ ) и решая задачу (11) для каждого зафиксированного  $\Phi(\lambda, y)$ , можно найти множество всех эффективных векторов  $y$ . Определив значения частных критериев  $f_1(y)$  и  $f_2(y)$  для каждого эффективного вектора КИ  $y$ , получим кривую в критериальном пространстве, точки которой соответствуют значениям частных критериев  $f_1$  и  $f_2$ , а не решениям  $y$  (эта кривая – образ множества Парето  $P$  в критериальном пространстве).

**Эксперименты на реальных данных и анализ результатов.** Для определения эффективных векторов КИ Республики Беларусь и соответствующих им парето-оптимальных векторных оценок (значений критериев) проведены расчеты с использованием информации за 2000–2003 гг. по двум модификациям исходной модели:

- не учитывающей ограничения на загрязнения (5), которая по сути аналогична модели из [1] (называем ее *модель А*);
- по модели (1)–(7), которую назовем *модель В*.

Обе модели реализованы с помощью пакета прикладных программ Matlab 6.5. В качестве факторов производства в них рассматриваются труд и капитал, представленные соответственно среднесписочной численностью работников, информация о которой за 2000–2003 гг. есть в статистических сборниках Министерства статистики и анализа Республики Беларусь, и потреблением основного капитала по отраслям, численные значения которого для расчета коэффициентов матрицы прямых затрат факторов производства получены по запросу из Министерства статистики и анализа Республики Беларусь. Матрица межот-

расловых потоков продуктов и выпуски по отраслям для расчетов взяты из отчетных межотраслевых балансов Республики Беларусь за 2000–2003 гг.

Расчет элементов матрицы  $Q = \|q_{rj}\|_m$  основан на информации об объемах загрязнения окружающей среды отраслями экономики, представленной в сводных статистических отчетах Министерства статистики и анализа Республики Беларусь по форме № 2-ОС (воздух) “Отчет о выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух” за 2000–2003 гг. (для расчетов использовались показатели раздела II, в котором содержатся данные о загрязнении атмосферного воздуха специфическими загрязняющими веществами):  $q_{rj} = q'_{rj} / x_j$ , где  $q'_{rj}$  – выброс загрязняющего вещества  $r$ -го вида отраслью  $j$ ;  $x_j$  – выпуск  $j$ -й отрасли. В Республике Беларусь информация представляется по номенклатуре, содержащей более 70 наименований загрязняющих веществ, поэтому добавление условий экологичности в виде ограничений (5) вводит в модель от 70 до 80 дополнительных ограничений в зависимости от исследуемого периода.

Результаты расчетов по моделям  $A$  и  $B$  изображены в виде кривых в декартовой прямоугольной системе координат, где по вертикали откладываются значения ВВП, а по горизонтали – величина потребления ТЭР (рис. 1, 2).

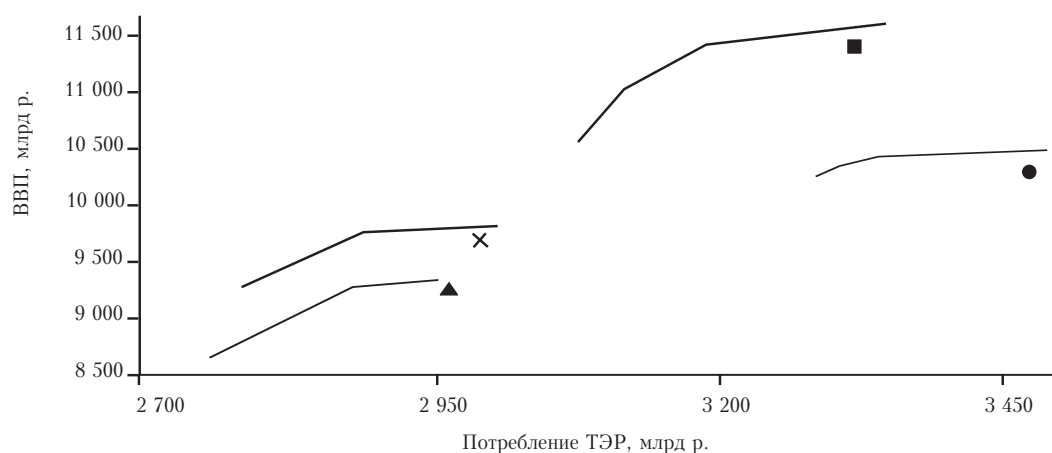


Рис. 1. Результаты расчетов ВВП и потребления ТЭР Республики Беларусь по модели  $A$  за 2000–2003 гг. (в ценах 2000 г.):

▲ – 2000 г.; × – 2001 г.; ● – 2002 г.; ■ – 2003 г.

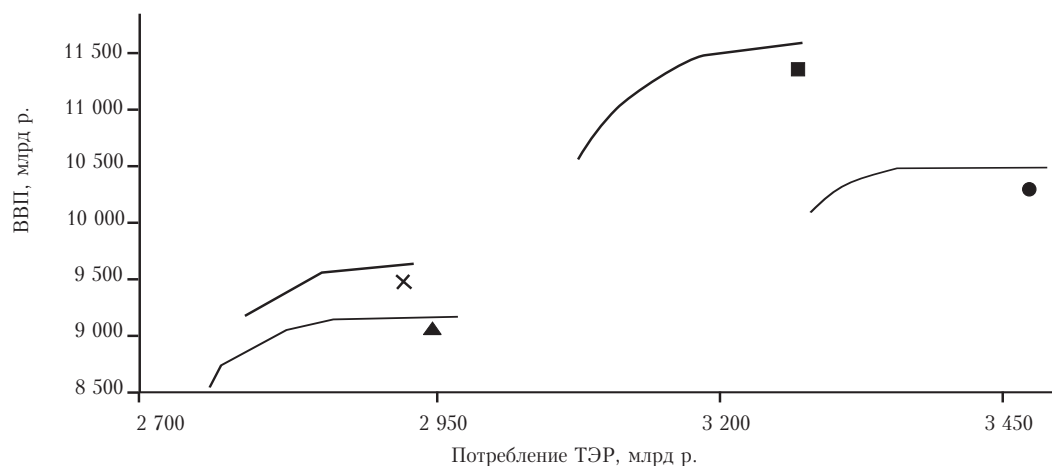


Рис. 2. Результаты расчетов ВВП и потребления ТЭР Республики Беларусь по модели  $B$  за 2000–2003 гг. (в ценах 2000 г.):

▲ – 2000 г.; × – 2001 г.; ● – 2002 г.; ■ – 2003 г.

Точки, не лежащие на кривых рис. 1,2, соответствуют фактическим значениям ВВП и потребления ТЭР Республики Беларусь за 2000–2003 гг. Кривые на каждом из графиков соответствуют эффективным с точки зрения рассматриваемых критериев векторам КИ соответственно на рис. 1 без учета, а на рис. 2 — с учетом ограничений на загрязнения окружающей среды. Вектор КИ, соответствующие точкам на кривых, являются некоторым компромиссом между ростом ВВП и потреблением ТЭР. Точки, расположенные ниже кривых, отражают неэффективные состояния экономики с точки зрения предложенных критериев. Т.е. графики показывают, что в рамках *моделей А* и *В* можно говорить о том, что белорусская экономика обладает потенциалом для наращивания объемов ВВП и снижения объема потребления ТЭР (причем результат в рамках *модели В* показывает, что сделать это можно, не оказывая дополнительного отрицательного воздействия на окружающую среду).

То, что для каждого года кривая, полученная с учетом экологических ограничений, лежит ниже кривой соответствующей модели без ограничений на загрязнения, указывает на то, что уровень этого потенциала во многом определяется требованиями экологии. В соответствии с расстояниями, найденными по горизонтали и вертикали от точки фактического ВВП и потребления ТЭР до кривой для каждого варианта модели в каждом периоде, за которые производился расчет, можно заключить, что:

1) при сложившемся потреблении ТЭР рассчитанный ВВП, соответствующий эффективному вектору  $y$  на кривой, оказался больше фактического, т.е. он мог быть увеличен в рамках *модели А* на 2,7 % в 2000 г., на 2,1 — в 2001 г., на 2 — в 2002 г., на 1,7 % — в 2003 г. В соответствии с *моделью В* оптимальное значение ВВП при сложившемся потреблении ТЭР выше фактического на 0,5 % в 2000 г., на 0,6 — в 2001–2002 гг., на 0,7 % — в 2003 г.

2) при фактическом ВВП рассчитанное по обеим моделям потребление ТЭР, соответствующее парето-оптимальному вектору КИ на кривой, оказалось ниже фактического, т.е. в рамках обеих моделей имеется возможность экономии ТЭР в следующих размерах: по *модели А* — на 3,4 % в 2000–2002 гг. и на 4 % в 2003 г.; по *модели В* соответственно на 2,3 % в 2000 г., на 1 % в 2001 г., на 2,8 % в 2002 г., на 3,2 % в 2003 г.

Результаты таблицы наглядно отражают тот факт, что при одном уровне значимости  $\lambda$  оптимальное значение ВВП в рамках *модели А* отлично от значения, полученного по *модели В*, а также что введение дополнительных ограничений (5) в *модели В* ведет к существенному изменению отраслевых объемов КИ.

В таблице приведены векторы КИ продукции отраслей, рассчитанные по *моделям А* и *В*, при  $\lambda$ , равном 0,65. Выбранное значение параметра  $\lambda$  соответствует некоторому эффективному вектору КИ, который в рамках целевых параметров строго доминирует точку, отражающую фактические ВВП и потребление ТЭР. Множество Парето для решаемой задачи (т.е. множество эффективных векторов КИ) бесконечно, при этом каждому эффективному вектору  $y$  соответствует определенная векторная оценка (т.е. значения ВВП и объема потребления ТЭР). Для выбора парето-оптимальных векторов, координаты которых отражены в таблице, использовалось предположение о том, что для лица, принимающего решение, максимизация ВВП относительно важнее минимизации потребления ТЭР. Кроме того, данные решения выбирались из множества таких, которым соответствуют значения ВВП не ниже фактического, а объем потребления ТЭР — не выше факта (т.е. из множества векторов КИ, при которых страна способна производить ВВП больше фактического, а потребление ТЭР при этом не превышает сложившееся в экономике).



Объемы конечного использования продукции отраслей в 2000—2003 гг., рассчитанные по моделям А и В (млрд р. в текущих ценах)

òäåæ ü	2000 .			2001 .			2002 .			2003 .		
	Ô à ò	-àæàò ïï ì ïää A	-àæàò ïï ì ïää	Ô à ò	-àæàò ïï ì ïää A	-àæàò ïï ì ïää	Ô à ò	-àæàò ïï ì ïää A	-àæàò ïï ì ïää	Ô à ò	-àæàò ïï ì ïää A	-àæàò ïï ì ïää
1	-51,61	-126,89	-488,16	-55,46	48,67	-53,75	10,96	100,04	36,19	178,56	141,00	111,04
2	-527,78	-406,65	-305,98	-867,82	-814,89	-865,92	-624,84	-802,98	-745,68	-903,04	-1208,81	-899,26
3	-315,17	-324,41	-84,04	-524,63	-519,98	-524,62	-574,00	-521,65	-572,10	-1015,27	-958,05	-1236,35
4	-83,34	-88,23	311,20	-137,08	-131,29	-137,59	-200,39	-193,94	-200,89	-274,60	-260,17	-270,49
5	335,20	300,76	1396,23	747,96	655,57	754,47	939,23	863,30	951,67	889,96	867,47	902,52
6	1399,67	1535,02	225,55	2458,68	2262,95	2458,12	3254,21	3053,92	3256,66	4128,73	3700,90	4104,48
7	222,74	251,73	14,03	459,69	506,08	460,28	649,30	585,32	654,05	874,12	954,63	860,60
8	25,35	0,00	730,14	61,04	-23,55	59,25	163,11	90,06	164,54	224,10	185,78	43,79
9	727,78	788,68	1888,60	1147,19	1070,06	1148,72	1636,80	1556,35	1637,19	1561,94	1435,11	1564,02
10	1888,78	2053,52	8,16	3324,55	3509,09	3327,34	5050,34	5253,75	5050,54	4953,29	5347,46	4957,42
11	31,13	62,97	1395,72	63,90	96,14	30,42	136,29	170,43	98,90	114,26	55,13	49,25
12	1357,82	1393,97	828,72	2248,35	2389,79	2248,48	3333,75	3399,07	3334,04	4958,50	5756,82	5414,35
13	825,29	637,07	61,12	1546,44	1433,82	1550,81	2256,89	2125,26	2262,67	2082,82	1711,26	2093,36
14	51,15	60,52	687,45	58,77	51,60	62,64	86,82	51,66	125,76	129,00	167,03	152,01
15	699,38	684,41	90,70	1371,55	1365,75	1346,91	1961,82	2148,73	1940,30	3280,46	3457,70	3201,64
16	80,08	87,36	396,59	193,07	213,83	215,52	436,06	480,68	482,70	690,96	691,88	742,05
17	279,41	324,55	-0,83	546,48	982,22	584,79	754,20	1266,04	807,34	5263,06	5511,88	5326,55
18	-8,36	-2,85	1,77	-9,28	1,05	5,87	16,18	54,67	68,24	7,36	28,37	36,12
19	0,39	1,42	18,22	-7,41	-4,62	-4,28	-5,74	-1,52	-10,26	-9,52	-3,61	-3,05
20	17,98	18,22	19,54	43,66	47,45	47,45	63,59	62,38	62,38	71,39	74,55	68,24
21	23,52	23,10	378,62	80,48	81,07	77,37	122,45	124,43	117,80	177,27	242,66	244,51
22	377,02	367,27	489,18	803,69	765,66	803,83	1281,92	1265,58	1283,14	1921,96	1835,51	1956,98
23	551,48	487,21	592,04	1131,89	1080,40	1080,07	1610,71	1606,87	1607,79	2153,56	2079,09	2080,32
24	630,45	613,75	72,20	1243,86	1219,13	1268,49	1941,67	1924,01	1928,64	2609,22	2583,21	2583,46
25	75,89	72,16	38,92	140,88	137,07	137,10	194,50	193,74	193,83	271,15	260,25	260,33
26	41,58	41,17	19,59	47,16	48,95	48,46	88,83	86,83	83,32	125,24	123,18	118,68
27	25,20	17,01	459,40	63,47	54,84	57,46	76,66	64,62	67,71	95,99	76,83	80,80
28	435,23	458,92	16,57	952,89	978,56	979,21	1421,18	1430,87	1411,27	2184,28	2405,51	2405,98
29	17,51	18,46	0,00	39,26	36,98	36,98	55,81	49,61	49,61	75,83	71,45	71,45
<b>В с е г о</b>	<b>133,</b>	<b>350,20</b>	<b>261,25</b>	<b>1 1 3,23</b>	<b>1 542,42</b>	<b>1 203,</b>	<b>26 13 ,30</b>	<b>26 4 ,13</b>	<b>26 14 ,32</b>	<b>36 20,54</b>	<b>3 434,00</b>	<b>3 020,</b>

*Примечание.* Отрасли: 1 — “Электроэнергетика и теплоэнергетика”; 2 — “Топливная промышленность”; 3 — “Черная металлургия”; 4 — “Цветная металлургия”; 5 — “Химическая и нефтехимическая промышленность”; 6 — “Машиностроение и металлообработка”; 7 — “Лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность”; 8 — “Промышленность строительных материалов, включая стекольную и фарфоро-фаянсовую промышленность”; 9 — “Легкая промышленность”; 10 — “Пищевая промышленность”; 11 — прочие отрасли промышленности; 12 — “Строительство”; 13 — “Сельское хозяйство”; 14 — “Лесное хозяйство”; 15 — “Транспорт”; 16 — “Связь”; 17 — “Торговля, посредническая деятельность и общественное питание”; 18 — “Операции с недвижимым имуществом”; 19 — “Общая коммерческая деятельность по обеспечению функционирования рынка”; 20 — “Геология и разведка недр, геодезическая и гидрометеорологическая службы”; 21 — “Прочие виды деятельности сферы материального производства, включая информационно-вычислительное обслуживание”; 22 — “Жилищно-коммунальное хозяйство и бытовое обслуживание”; 23 — “Здравоохранение, физическая культура и социальное обеспечение”; 24 — “Образование”; 25 — “Культура и искусство”; 26 — “Наука и научное обслуживание”; 27 — “Финансы, кредитование, страхование и пенсионное обеспечение”; 28 — “Управление и оборона”; 29 — “Общественные объединения”.

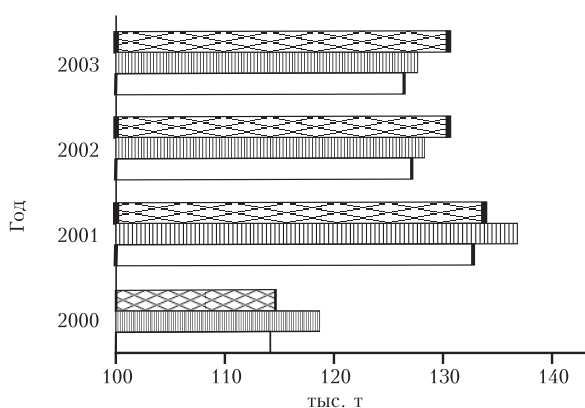


Рис. 3. Уровни загрязнения атмосферного воздуха в Республике Беларусь в 2000–2003 гг.:

■ — фактические загрязнения; ▨ — модель А; □ — модель В

имуществом”. В соответствии с таблицей фактический объем КИ в отрасли “Связь” в 2000 г. составил 80,08 млрд р., рассчитанное эффективное значение по модели А для этого года — 87,36 млрд р., по модели В — 396,59 млрд р. Иными словами, результат в рамках обеих моделей превышает факт аналогично результату в другие периоды моделирования по этой отрасли. Например, факт в 2003 г. — 690,96, результат по модели А — 691,88, по модели В — 742,05 млрд р. Однонаправленное изменение эффективных объемов КИ названных отраслей по обеим моделям в течение ряда лет позволяет говорить о том, что направление изменений для них можно определить однозначно, а добавление в модель ограничений на загрязнения окружающей среды только определяет их масштабы. Например, значения КИ, полученные по моделям А и В в отрасли “Связь”, на всем промежутке с 2000 по 2003 гг. превышают факт, но традиционно результат по модели А (87,36 млрд р. в 2000 г., 213,83 — в 2001 г., 480,7 — в 2002 г., 691,88 млрд р. — в 2003 г.) меньше эффективного значения по модели В (396,59 млрд р., 215,52, 482,70, 742,05 млрд р. в соответствующие периоды).

Рассматривая отдельно результаты в рамках моделей А и В, можно выделить отрасли, в которых объем КИ превысил фактический в рамках одной из моделей (либо был меньше), не проявляя такой тенденции в рамках другой модели. Например, КИ в отраслях “Химическая и нефтехимическая промышленность”, “Жилищно-коммунальное хозяйство” в модели В превосходит фактическое на всем промежутке, в то время как по модели А ситуация диаметрально противоположная. Для иллюстрации этого утверждения приведем значения отраслевых объемов КИ для “Химической и нефтехимической промышленности”: фактический объем КИ в 2000 г. составил 335,20 млрд р., полученное значение в рамках модели А для 2000 г. меньше факта и составляет 300,76 млрд р., в то время как КИ по модели В превышает факт — 1 396,23 млрд р. (аналогично и в другие периоды: например, факт в 2003 г. — 889,96, результат по модели А — 867,47, по модели В — 902,52 млрд р.).

Несмотря на не столь значительный рост ВВП в рамках модели В по сравнению с моделью А, ограничения (5) позволяют получить отраслевые структуры экономики с уровнем загрязнения ниже фактического (рис. 3).

Уровни загрязнения атмосферного воздуха на рис. 3 соответствуют векторам КИ таблицы.

Данные ее позволяют выявить некоторые устойчивые закономерности в формировании парето-оптимальных векторов КИ в период 2000–2003 гг. Так, рассчитанный по модели А и В объем КИ в рассматриваемый период превосходил фактический в отраслях “Связь”, “Операции с недвижимым



В отличие от этих отраслей, КИ которых в рамках одной модели превышает факт, а в рамках другой — меньше его, в отраслях “Пищевая промышленность”, “Строительство”, “Легкая промышленность”, “Промышленность стройматериалов”, “Сельское хозяйство”, “Транспорт”, “Торговля”, “Управление и оборона” наблюдается несовпадение характера изменений отраслевых объемов КИ даже в рамках одной модели при раздельном их рассмотрении с 2000 по 2003 гг. Так, в отрасли “Легкая промышленность” в 2000 г. результат по модели А (788,68 млрд р.) превысил факт (727,78 млрд р.), в то время как в 2001 г. КИ по модели А составило 1 070,06 млрд р. против фактических 1 147,19 млрд р. Для “Строительства” в 2000 г. КИ по модели В (828,72 млрд р.) значительно меньше факта (1 357,82 млрд р.), а в 2003 г. (5414,35 млрд р.) значительно превышает факт (4 958,50 млрд р.). Наличие таких неоднозначно определенных отраслей должно привлекать особое внимание специалистов при формировании отраслевых программ развития, так как изменения в развитии этих отраслей на пути достижения максимума ВВП и рационализации потребления ТЭР за счет отраслевой переориентации ВВП в значительной степени определяются учетом экологических требований. Несмотря на нестабильное поведение отраслевых значений КИ в рамках рассматриваемых моделей, общий рост в экономике, характеризующейся отраслевыми структурами ВВП со стороны конечного спроса, соответствующими табличным значениям, может быть достигнут за счет опережающего роста отраслей сферы услуг. Парето-оптимальные значения КИ показали, что спрос на товары составляет 97,62–104,24 %, а спрос на услуги 100,79–107,43 % от их фактических значений в зависимости от года. Безусловно, при выборе других эффективных решений (векторов КИ) из множества парето-оптимальных эти оценки могут быть иными. Общий вывод о развитии той или иной сферы в рамках поставленной задачи будет зависеть от предпочтений ЛПР относительно критериев и наличия ограничений (5).

Анализ значений ВВП, объемов потребления ТЭР и отраслевых объемов КИ Республики Беларусь, рассчитанных по моделям А и В на базе фактической информации за 2000–2003 гг., позволил выявить закономерности, характерные для всего изучаемого периода, а также сделать некоторые выводы относительно влияния требований экологичности развития на формирование парето-оптимальных векторов КИ:

- на протяжении 2000–2003 гг. фактическое состояние экономики Республики Беларусь характеризовалось недостаточной эффективностью с точки зрения рассматриваемых в данной работе целевых параметров;
- существуют резервы для роста ВВП без привлечения дополнительных ТЭР, определяющиеся изменением отраслевой структуры ВВП, использование которых не позволит дополнительно отрицательно воздействовать на окружающую среду в части загрязнения атмосферного воздуха;
- дополнительные требования, позволяющие учитывать загрязнения окружающей среды, в значительной степени влияют на оптимальный уровень потребления ТЭР и на значения парето-оптимальных отраслевых объемов КИ. При этом направления отраслевых изменений в достижении максимального ВВП в рамках национальной экономики с учетом рационального потребления ТЭР существенно зависят от наличия ограничений на загрязнения окружающей среды.

### Литература

1. Кравцов М.К., Пашкевич А.В., Подкопаев Д.П. Двухкритериальная модель оптимизации валового внутреннего продукта с учетом рационального использования топливно-энергетических ресурсов // Белорус. экономика: анализ, прогноз, регулирование. 2002. № 12.
2. Кравцов М.К., Пашкевич А.В. Многокритериальный подход к оптимизации валового внутреннего продукта // Автоматика и телемеханика. 2004. № 2.
3. Шимова О.С., Соколовский Н.К. Основы экологии и экономика природопользования: Учеб. / 2-е изд., перераб. и доп. Мн., 2002.
4. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. / Национальная комиссия по устойчивому развитию Республики Беларусь; Редкол.: Я.М. Александрович и др. Мн., 2004.
5. Леонтьев В.В. Межотраслевая экономика. М., 1997.
6. Экономико-математическое моделирование / Под общ. ред. И.Н. Дробыцкого. М., 2004.
7. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М., 1982.