

Р.3.2

Илья КАГАНОВИЧ

**ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОСТЬ И ФАКТОР ВРЕМЕНИ  
В ПРИРОДОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ЭКОНОМИКЕ  
(ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА МЕЖВРЕМЕННЫХ СВЯЗЕЙ)**

Потери и ущербы, причиняемые окружающей среде в результате производственной деятельности, получают экономическое выражение в затратах будущего труда, заранее отнесенных на продукцию, выпуск которой их вызвал. В статье анализируются образующиеся при этом обратные временные связи.

В традиционных моделях экономической динамики, отражающих лишь прямые связи во времени, выпуск продуктов растет, а их двойственные оценки снижаются, какими бы ни были целевая функция и краевые условия. Ввиду этого обычно признается неоспоримым, что при соизмерении одновременных затрат норма дисконта, определяемая динамикой оценок, в любом случае может быть лишь положительной величиной.

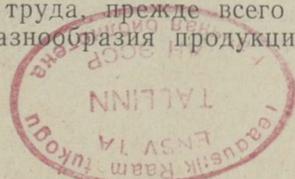
В работе предпринята попытка показать, что учет в модели наряду с прямыми и обратных временных связей придает траекториям продукции и оценок форму вогнутых кривых, свойства которых, при прочих равных условиях, зависят от параметров целевой функции. Это делает приростные показатели динамики оценок и продукции переменными по величине и знаку. В определенных условиях, отвечающих стратегии сбережения природных ресурсов, в таких моделях может происходить рост двойственных оценок, т. е. образование отрицательной нормы дисконта.

Неоднозначность экономического влияния фактора времени обоснована и интерпретирована в процессе имитационных расчетов на модели межвременных-межотраслевых связей.

Ниже вслед за изложением существа проблемы (§ 1) дается описание модели с обратными временными связями при годовичном лаге затрат (§ 2). Затем приводятся качественные результаты анализа траекторий выходных параметров модели при раздельной (§ 3) и совместной (§ 4) минимизации прошлых и будущих затрат. Наконец, рассматривается обобщенная модель межвременных связей при лагах любой длительности (§ 5).

**1. Постановка вопроса**

До недавнего времени индустриальное производство развивалось в условиях, при которых темпы его роста определялись почти исключительно социальными предпосылками и в глобальных масштабах не лимитировались природными факторами. Если последние остаются на заднем плане, то экономические стимулы ориентируют технический прогресс на снижение удельных затрат труда, прежде всего физического, и на рост объема, качества и разнообразия продукции ценой



вовлечения в переработку все больших масс природного вещества. Можно ожидать, что в процессе адаптации производственной системы к условиям повсеместного истощения традиционно используемых ресурсов и загрязнения природных сред будет формироваться механизм ее функционирования в природосберегающем режиме. Это сопряжено, в частности, с переносом горизонта социально-экономических интересов во все более отдаленное будущее и с преобразованием структуры межвременных экономических связей.

Связь времен в экономике непосредственно проявляется в фундаментальных пропорциях расширенного воспроизводства: объем продукции каждого года делится на потребляемую и накапливаемую части (последняя предназначена для использования в будущем), а величина затрат складывается из текущих и капитальных (последние — за счет ранее созданных и накопленных фондов). Такая структура продукции и затрат соответствует направлению временных зависимостей в народном хозяйстве по принципу прямой связи (прошлое → настоящее → будущее). Поэтому и экономический механизм настроен на прямые временные связи, обратные же отсутствуют: отрицательные последствия хозяйственных мероприятий — повышение производственных затрат в отдаленном будущем — не учитываются при выработке и принятии технических решений и потому не оказывают обратного влияния на современную экономику, ответственную за эти последствия. В частности, загрязнение окружающей среды, а тем самым порча и сокращение ресурсов, которые будут использоваться в дальнейшем, скажутся на экономических результатах последующих периодов, но не учитываются в затратах в месте и во время загрязнения. Методика дисконтирования, соответствующая концепции прямых временных связей, приводит к таким несообразностям, как почти полное обесценивание той части запасов полезных ископаемых, лесов и других природных ресурсов, которая намечается к эксплуатации через 25—30 лет и позднее. Отсюда — грубое занижение денежной оценки общего количества ресурса, в частности оценки сельскохозяйственных угодий.

С переходом на хозрасчетное природопользование по принципу «платит тот, кто загрязняет» в составе дифференциальных затрат появляется новая статья — затраты обратной временной связи. Это — косвенные издержки, которые для продукции данного года представляют собой будущие расходы, вызываемые текущими хозяйственными мероприятиями и относятся на эту продукцию.<sup>1</sup> Источником будущих затрат на ранее созданную продукцию является остаточный ущерб, наносимый человеку и природе в процессе производства, т. е. непредотвращенный или нескомпенсированный в том году, когда он причинен. Сюда относится, например, удорожание разведки, добычи и переработки природных ресурсов из-за их потерь в прошлом.

Будущие затраты на продукцию текущего года реализуются через плату за ущерб — экологическую статью затрат на производство. Заметим, что природовосстановительная деятельность — очистка сред, рекультивация земель, воссоздание видового разнообразия животного и растительного мира и т. п. — в категорию будущих затрат не входит. Относительно времени получения плодов этой деятельности связанные с ней затраты являются прошлыми, и они учитываются наряду с другими затратами прошлого труда.

Будущие затраты в смысле затрат обратной временной связи следует отличать также от предстоящих расходов, задача минимизации которых стоит вне зависимости от учета экологических факторов.

<sup>1</sup> Соображения о такого рода будущих затратах, как об экологической составляющей суммарных производственных расходов, см. также в [1, 2].

При всех обстоятельствах возможно экономить лишь такие ресурсы, которые еще не реализованы в каком-либо производственном процессе, так что сохраняется свобода в выборе варианта их использования. Но эти ресурсы должны быть созданы, накоплены или разведаны до начала планируемого процесса, и в этом смысле их использование представляет собой затраты прошлого труда. В отличие от них затраты обратной временной связи являются затратами тех продуктов, предстоящее добавочное производство которых вызывается данным процессом, т. е. выступает как его последствие.

Учет обратной временной связи в балансе продукции данного года означает, что в общее ее количество входит та часть, которая использовалась в предшествующие годы. На первый взгляд парадоксальный феномен расходования еще не выработанной продукции имеет вполне рациональный смысл определенного вычета из потенциальных мощностей и прогнозных запасов  $t$ -го года вследствие природопользования в  $t-1$ -м,  $t-2$ -м и т. д. годах. Например, уничтожение черноземных почв при возведении на них зданий и сооружений равносильно расходу зерна в размере его недобора в будущем.

Таким образом, в природосберегающей экономике к воспроизводственному потоку материальных благ по направлению от прошлого к настоящему и будущему периодам присоединяется встречный — от будущего к настоящему и прошлому — в виде материальных потерь и ущербов, представляющих собой нагрузку на экономику последующих периодов. В результате и образуются обратные временные связи (рис. 1).

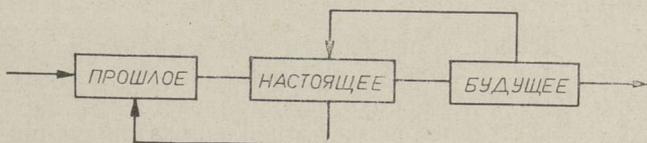


Рис. 1. Связь времен в природосберегающей экономике.

В сводном виде упомянутое распределение продукции и затрат по временному признаку показано в табл. 1.

Таблица 1

Макроструктура продукции настоящего периода и затрат на нее во временном аспекте

Период времени	Межвременные связи			
	Прямые		Обратные	
	Продукция	Затраты	Продукция	Затраты
Прошлый		Капитальные	Потери, ущербы	Капитальные
Настоящий	Потребление	Текущие	Потребление	Текущие
Будущий	Накопление		Накопление	Экологические (плата за ущерб)

Как видим, производственная система с обратными временными связями должна покрывать продукцией данного года вызванные ее выпуском текущие, прошлые и будущие затраты. Поскольку обратные связи во времени ставят хозяйственные мероприятия в зависимость

не только от их предпосылок, но и от последствий, формирование этих связей может сыграть решающую роль в создании экономического механизма природопользования на началах сохранения и оздоровления среды обитания.

## 2. Модель с обратными временными связями

Для анализа обратных связей во времени и выяснения их роли в дисконтировании затрат будем пользоваться динамической моделью, в которой годы производства и годы потребления продукции связаны между собой по той же схеме, что и отрасли в межотраслевой модели Леонтьева «затраты-выпуск». Модель передает разветвляющуюся во времени структуру продукции и затрат (см. табл. 1) и в качестве подмоделей включает межотраслевые блоки за каждый год рассматриваемого периода. В технологическом отношении модель замкнута: в число отраслей входит непроеизведенное потребление. В модели представлены технологии (отрасли) использования природного сырья, начиная с разведки и разработки его запасов. Учитываются как положительные, так и отрицательные результаты производственной деятельности. Первые выражаются в выпуске продукции для личного и производственного потребления, вторые — в ее потерях, которые вызывают добавочное производство продукции в году  $t$ , «расходуемой» в том же году или ранее — по времени нанесения ущерба. Таким образом, ущерб, причиненный человеку и природе, интерпретируется в модели как равновеликие ему потери, понесенные производственной системой.

Построим балансовые соотношения для валовой продукции года  $t$  (вектора-столбца  $X_t$ ) и полных трудовых затрат на эту продукцию (вектора-строки  $H_t$ ). Будем пока предполагать, что лаг между временем производства и временем потребления продукции составляет не более одного года и что матрицы затрат постоянны во времени:

$$X_t = A_{III}X_{t-1} + A_I X_t + A_{II}X_{t+1}, \quad (1)$$

$$X_t \geq 0, \quad t = 1, \dots, T;$$

$$H_t = H_{t-1}A_{II} + H_t A_I + H_{t+1}A_{III}, \quad (2)$$

$$H_t \geq 0, \quad t = 1, \dots, T,$$

где  $A_I$  — матрица прямых текущих затрат<sup>2</sup>,  $A_{II}$  — матрица затрат складываемой продукции  $t$ -го года в виде фондов на единицу продукции  $t+1$ -го года,  $A_{III}$  — матрица потерь продукции  $t$ -го года на единицу продукции  $t-1$ -го года, выпуск которой вызвал эти потери<sup>3</sup>,  $T$  — длина интервала планирования.

В выражении баланса продукции года  $t$  (1) слагаемое  $A_I X_t$  представляет собой вектор ее потребления в том же году  $t$ ,  $A_{II}X_{t+1}$  — вектор фондов, созданных в  $t$ -м и используемых в  $t+1$ -м году,  $A_{III}X_{t-1}$  — вектор потерь — вычетов из продукции  $t$ -го года в результате производственной деятельности в  $t-1$ -м году. Соответственно интерпретируются слагаемые полных трудовых затрат в выражении (2):  $H_t A_I$  — вектор текущих,  $H_{t-1} A_{II}$  — прошлых,  $H_{t+1} A_{III}$  — будущих затрат на единицу продукции  $t$ -го года.

<sup>2</sup> Имеется в виду, что матрица  $A_I$  продуктивна: существует вектор  $X \geq 0$  такой, что  $X > AX$ . Для замкнутой модели это означает, что моделируемая система способна производить прибавочный продукт.

<sup>3</sup> По терминологии авторов [3], матрица  $A_{II}$  характеризует расходование продукции с лагом, направленным вперед, а матрица  $A_{III}$  — с лагом, направленным назад.

Исходя из (1) и (2), построим динамическую задачу линейного программирования в прямой и двойственной постановках.

Прямая модель:

$$\begin{aligned} (P_1 X_1 + P_T X_T) &\rightarrow \min, \\ (E - A_I) X_1 - A_{II} X_2 &\geq A_{III} \bar{X}_0 = Z_1, \\ (E - A_I) X_t - A_{III} X_{t-1} - A_{II} X_{t+1} &\geq 0, \quad t=2, \dots, T-1, \\ (E - A_I) X_T - A_{III} X_{T-1} &\geq A_{II} \bar{X}_{T+1} = Z_T, \\ X_t &\geq 0; \quad \bar{X}_0, \bar{X}_{T+1} \text{ — заданы.} \end{aligned} \quad (3)$$

Двойственная модель:

$$\begin{aligned} (H_1 Z_1 + H_T Z_T) &\rightarrow \max, \\ H_1 (E - A_I) - H_2 A_{III} &\leq \bar{H}_0 A_{II} = P_1, \\ H_t (E - A_I) - H_{t-1} A_{II} - H_{t+1} A_{III} &\leq 0, \quad t=2, \dots, T-1, \\ H_T (E - A_I) - H_{T-1} A_{II} &\leq \bar{H}_{T+1} A_{III} = P_T, \\ H_t &\geq 0; \quad \bar{H}_0, \bar{H}_{T+1} \text{ — заданы.} \end{aligned} \quad (4)$$

Отличные от нуля значения правых частей ограничений задают краевые условия для производственной деятельности внутри рассматриваемого планового периода  $[1, \dots, T]$ . Координаты вектора-столбца  $Z_T$  имеют смысл конечной продукции этого периода — заданий по производству продукции в году  $T$  для использования в году  $T+1$ , т. е. в следующем периоде. Координаты вектора  $Z_1$  означают потери продукции в первом году периода из-за предыдущей деятельности (при  $t=0$ ).  $P_1$  — вектор-строка экзогенно заданных прошлых затрат, относимых на продукцию первого года,  $P_T$  — будущих, относимых на продукцию последнего года.

Следует отметить, что для литературы по теории экономического роста традиционна такая формулировка модели (см., напр., [4, с. 204—205]), что краевым условием служит исходный вектор начальных количеств продуктов в базисном году  $\bar{X}_0$ , и задача решается на максимум выпуска в конце периода. Мы предпочли пользоваться моделью (3) как более удобной для интерпретации в данной связи.

Модель, учитывающая и прямые и обратные временные связи, порождает различные типы динамики оценок, а тем самым различные типы предпочтения благ во времени, и дает возможность установить их зависимость от целей развития экономической системы. В традиционных динамических моделях указанная зависимость не обнаруживается, поскольку предпочтение благ во времени задается в них однозначно. Ниже будут рассмотрены основные варианты целевых функций прямой и двойственной моделей (3) и (4) и соответствующие им траектории продукции и оценок. Каждый из вариантов характеризуется набором ненулевых ограничений модели (краевых условий).

### 3. Раздельная минимизация прошлых и будущих затрат

Рассмотрим прежде всего вариант задачи, решаемой на минимум суммы прошлых затрат в первом году периода ( $\min P_1 X_1$ ) в прямой модели (3) и на максимум конечной продукции периода в оценках последнего года ( $\max H_T Z_T$ ) в двойственной модели (4). Имеется в виду, что  $Z_1, P_T=0$ , т. е. что краевые значения ущерба и будущих затрат не заданы или не принимаются в расчет.

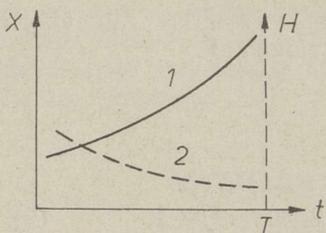


Рис. 2. Траектории переменных при минимизации прошлых затрат: 1 — валовые выпуски, 2 — двойственные оценки.

При этих условиях выпуск продукции растет, а двойственные оценки снижаются от года к году (рис. 2).

Оптимальное решение — вектор-столбец  $\bar{X}_t$  и вектор-строка  $\bar{H}_t$ ,  $t=1, \dots, T$  — дает максимальный темп технологического роста (валовых выпусков)  $\bar{\alpha} > 1$  и минимальный темп экономического роста (падения оценок)  $\bar{\beta} > 1$ , так что  $\bar{X}_{t+1} = \bar{\alpha} \bar{X}_t$ ,  $\bar{H}_{t-1} = \bar{\beta} \bar{H}_t$ . Если матрица модели (3) неразложима, то  $\bar{\alpha} = \bar{\beta}$ .

Рост валовых выпусков и снижение оценок являются здесь выражениями продуктивности моделируемой системы. Экономической интерпретацией этого свойства служит метод дисконтирования для соизмерения разновременных затрат или результатов. Приведение суммы затрат  $S_k$  в фиксированном году  $t=k$  к дисконтированной величине  $S_0$  в базисном году  $t=0$  путем деления  $S_k$  на  $\bar{\beta}^k$  основано на предположениях, что темпы роста системы постоянны и что в силу ее способности производить прибавочный продукт затраты  $S_0$  в году  $t=0$  обернутся по прошествии  $k$  лет продукцией на сумму  $S_k$ . Естественно, что величина  $S_0$  сопоставима с любой другой величиной затрат или выпуска в базисном году.

Таким образом, минимизация прошлых затрат в начале периода предопределяет предпочтение благ во времени, когда благо в году  $t$  предпочтительнее, чем в году  $t+1$ . Мету предпочтения задает убывающая последовательность векторов оценок, которая соизмеряет одноименные блага, произведенные в разное время, т. е. служит для них взвешивающей функцией времени. Убывание оценок отражает стимулирование возможно более ранних затрат ресурсов: в продуктивной системе отложить их реализацию — значит потерять в отдаче, которую они ежегодно приносят в виде прибавочного продукта.

Темп изменения оптимальных значений переменных во времени  $(\bar{\beta}-1)$  интерпретируется как норма дисконта при условии постоянства структуры модели (матриц затрат), отвечающей исходному состоянию технологии и уровню продуктивности системы. Структурные сдвиги в ней под влиянием технологических и экологических факторов меняют ее продуктивность и темп роста, а значит, и норму дисконта. Нововведения, которые не обеспечивают снижения затрат за год относительно их прошлогоднего уровня по крайней мере на величину нормы дисконта, нерентабельны. Поэтому норма дисконта, выражая минимальный темп годового уменьшения затрат, при котором производство остается рентабельным, является и нормой эффективности затрат на реализацию нововведения.

В приведенной характеристике метода дисконтирования подразумевается, что норма дисконта — положительная величина: при минимизации прошлых затрат двойственные оценки в замкнутых моделях не могут не снижаться. Такая динамика оценок — единственно возможная в стандартных динамических моделях со свойственной им структурой прямых временных связей (обратные не учитываются, лаг затрат направлен вперед), т. е. с верхней блочно-треугольной базисной матрицей (см. рис. 3, а).

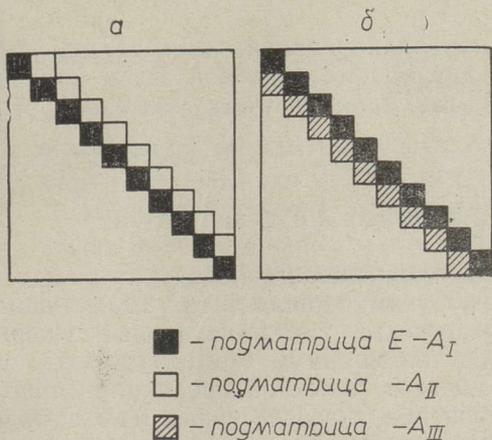


Рис. 3. Блочнo-треугольная структура базисной матрицы: а — верхняя, б — нижняя.

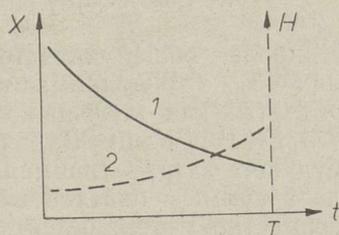


Рис. 4. Траектории переменных при минимизации будущих затрат: 1 — валовые выпуски, 2 — двойственные оценки.

Естественно, что в этих моделях действие фактора времени инвариантно относительно типа целевой функции, в которой по самой постановке задачи не могут найти отражения будущие затраты на продукцию данного периода.

Возможен и другой вариант динамической модели леонтьевского типа, также без обратных временных связей, но с матрицей, симметричной изображенной на рис. 3, а. Имеется в виду модель с лагом, направленным назад, — с нижней блочно-треугольной базисной матрицей (рис. 3, б). В такой модели, какой бы ни была ее целевая функция, выпуск продукции со временем снижается, а оценки растут (см. рис. 4).

Для моделей с обратными временными связями этот гипотетический случай, как и тот, что представлен на рис. 2, является лишь частным. Он соответствует прямой задаче на минимум будущих затрат ( $\min P_T X_T$ ) и двойственной — на максимум оплаты ранее нанесенного ущерба ( $\max H_1 Z_1$ ). Таков смысл критериев оптимальности в моделях (3), (4), если в них не учитываются прошлые затраты и нет задания по выпуску конечной продукции периода:  $P_1, Z_T = 0$ .

В этих условиях годовой прибавочный продукт, произведенный системой, поглощается ущербом, причиненным в прошедшем году, и накопления не происходит. Отсюда соотношение:  $\bar{\gamma} = \bar{\delta} < 1$  ( $\bar{X}_{t+1} = \bar{\gamma} X_t$ ,  $\bar{H}_{t-1} = \bar{\delta} H_t$ ), где  $\bar{\gamma}, \bar{\delta}$  — экстремальные темпы технологического и экономического роста соответственно. В таком случае разновременные затраты приводятся к базисному году  $t=0$  на основе отрицательной нормы дисконта  $\bar{\delta} - 1 < 0$ . Это значит, что  $S_0 = S_h \bar{\delta}^{(-h)} > S_h$ .

Итак, минимизации будущих затрат отвечает тип предпочтения благ во времени, противоположный по направлению тому, который образуется при минимизации прошлых затрат: выпуск единицы продукции в  $t+1$ -м году оказывается предпочтительнее, нежели в  $t$ -м, поскольку отдаляет сопряженные с этим потери и их оплату за счет будущего труда.

Моделирование свернутого воспроизводства, которое, если к нему подходить с позиций реальной экономики, носит абстрактный характер, вполне уместно в динамическом анализе продуктивности экосистем, деградирующих из-за чрезмерной эксплуатации и загрязнения.

Постановки задач динамического планирования, к которым мы теперь переходим, принципиальны для рассматриваемой здесь модели с обратными временными связями, так как без учета последних эти постановки нереализуемы.

#### 4. Совместная минимизация прошлых и будущих затрат

Наиболее общей является постановка, предполагающая, что в моделях (3), (4) принимаются в расчет как прошлые, так и будущие затраты, как конечная продукция периода, так и начальный ущерб ( $Z_1, Z_T, P_1, P_T > 0$ ). Задача решается на минимум суммы прошлых и будущих затрат (прямая) и на максимум конечной продукции периода в сумме с оплатой начального ущерба (двойственная). Тем самым совместно учитываются текущие и будущие интересы, к координации которых в конечном счете сводится выработка оптимального варианта развития.

Траектории оценок формируются при этом как равнодействующие двух противоположно направленных тенденций: к снижению значений переменных под влиянием прошлых затрат и к росту под влиянием будущих. Это показано на рис. 5, где изображены траектории оценок в трех задачах, различающихся ограничениями и соответственно целевыми функциями.

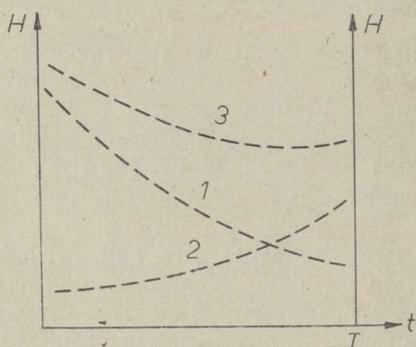


Рис. 5. Траектории двойственных оценок в задачах: 1 — на минимум прошлых затрат ( $P_1 X_1$ ), 2 — будущих затрат ( $P_T X_T$ ), 3 — суммы прошлых и будущих ( $P_1 X_1 + P_T X_T$ ).

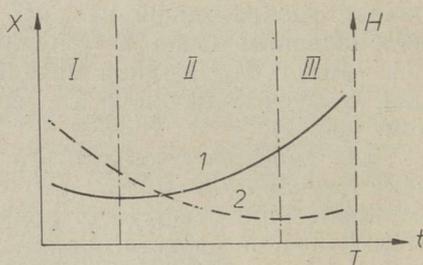


Рис. 6. Динамика продукции и оценок при минимизации суммы прошлых и будущих затрат: 1 — валовые выпуски, 2 — двойственные оценки.

Двойственные оценки в задаче минимизации  $P_1 X_1 + P_T X_T$  являются взвешенными суммами оценок в задачах на минимум  $P_1 X_1$  и  $P_T X_T$  в отдельности. Оценки при этом меняются по вогнутой кривой. В точке ее перегиба влияние прошлых и будущих затрат уравнивается. Расположение этой точки — ее близость к началу или к концу периода — зависит прежде всего от того, какой цели отдается приоритет: дальнейшему развитию или предотвращению ущерба, т. е. от соотношения  $P_1$  и  $P_T$ . Если, как обычно,  $P_1 \gg P_T$ , точка перегиба траектории оценок оказывается вблизи конца периода (см. рис. 6).

Аналогично, вид вогнутых кривых имеют траектории валовых выпусков. При  $Z_T \gg Z_1$  точка перегиба — вблизи начала периода. На рис. 6 точки перегиба отмечены вертикальными пунктирно-штриховыми

линиями, которые делят график на три части. В наиболее протяженной II части характер динамики продукции и оценок в принципе тот же, что и на рис. 2. Если темп технологического роста по оптимальному плану обозначить через  $\eta$ , а экономического — через  $\lambda$ , то в этой части графика  $\eta, \lambda \geq 1$  и кривые более пологи, чем на рис. 2.

Необычно, однако, направление траекторий по краям этого графика: в I части  $\eta \leq 1, \lambda > 1$ , в III части  $\eta > 1, \lambda \leq 1$ . Это значит, что в отличие от привычной картины динамики сценок (см. рис. 2 и 4, а также II часть графика на рис. 6) здесь складывается такая, что росту производства отвечает отрицательная норма эффективности и дисконта (оценки повышаются), а сокращению — положительная (оценки падают).

Дело в том, что в случае роста выпуска продукции преобладающий вес в целевой функции получают будущие затраты (экологическая составляющая), и для их снижения требуется сдерживать производство. Отрицательная норма дисконта как раз и побуждает к этому — делает предпочтительным сохранение ресурсов в каждый данный момент времени, т. е. отодвигает сроки их расходования.

В противоположном случае, когда выпуск продукции снижается, преобладает цель экономии прошлых затрат — их сокращения относительно будущих. Отсюда — предпочтительность неотложного использования ресурсов для увеличения производства, чему и способствует положительная норма дисконта.

Ситуация, при которой растут (снижаются) и выпуски и оценки, при моделировании обратных временных связей отнюдь не является экзотической. Она, например, оказывается единственно возможной для следующей разновидности обсуждаемой модели.

Прямая модель:

$$\begin{aligned}
 &P_k X_k \rightarrow \min, \\
 &(E - A_I) X_t - A_{III} X_{t-1} - A_{II} X_{t+1} \geq 0, \quad t=1, \dots, k-1, k+1, \dots, T; \quad (5) \\
 &(E - A_I) X_k - A_{III} X_{k-1} - A_{II} X_{k+1} \geq Z_k, \\
 &X_t \geq 0.
 \end{aligned}$$

Двойственная модель:

$$\begin{aligned}
 &H_k Z_k \rightarrow \max, \\
 &H_t (E - A_I) - H_{t-1} A_{II} - H_{t+1} A_{III} \leq 0, \quad t=1, \dots, k-1, k+1, \dots, T, \quad (6) \\
 &H_k (E - A_I) - H_{k-1} A_{II} - H_{k+1} A_{III} \leq P_k, \\
 &H_t \geq 0.
 \end{aligned}$$

Здесь  $Z_k$  — внешняя нагрузка на систему в фиксированном году  $t=k$  при  $1 < k < T$ ,  $P_k$  — экзогенные затраты в том же году. Для предшествующих лет,  $t=1, \dots, k-1$ ,  $Z_k$  — конечная продукция,  $P_k$  — будущие затраты, а для последующих,  $t=k+1, \dots, T$ , — ранее причиненный ущерб (потери) и прошлые затраты соответственно.

Реакция системы на внешнюю нагрузку выражается в преддействии и последствии. Преддействие состоит в создании производственных фондов, которые обеспечат выпуск в  $k$ -м году  $Z_k$  единиц конечной продукции, а последствие — в нанесении ущерба системе и его оплате за счет будущих затрат. В результате траектория валового выпуска для получения конечной продукции в размере  $Z_k$  имеет

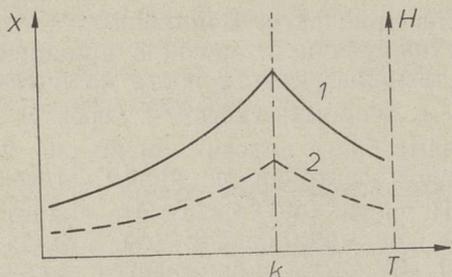


Рис. 7. Динамика продукции и оценок в задаче с внешней нагрузкой в  $k$ -м году ( $1 < k < T$ ): 1 — валовые выпуски, 2 — двойственные оценки.

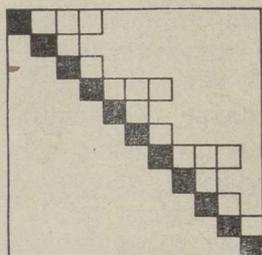


Рис. 8. Структура базисной матрицы при лагах разной длительности.

ключеобразную форму: как видно из рис. 7, до года  $k$  она экспоненциально растет, а затем сокращается.

Такой же вид у кривой двойственных оценок. С позиции года  $k$ , когда затрачивается экзогенный ресурс, оценки продукции как предшествующих лет, так и последующих снижаются по мере удаления от этого года.

Модели (5), (6) позволяют в простейшем случае, когда  $A_{II} = A_{III}$ , установить количественное соотношение между экстремальными темпами технологического и экономического роста:  $\bar{\alpha} = 1/\bar{\beta}$ . В период преддействия, когда продукция и оценки растут,  $\bar{\alpha} > 1$ ,  $0 < \bar{\beta} < 1$ , а в период последствия, когда они снижаются,  $0 < \bar{\alpha} < 1$ ,  $\bar{\beta} > 1$ .

Необычное по виду соотношение  $\bar{\alpha} = 1/\bar{\beta}$  является крайним выражением тех типов предпочтений, о которых говорилось выше, когда комментировался рис. 6 (его I и III части).

Изложенные выше экспериментальные результаты демонстрировались на модели с одногодичным лагом затрат, но имеют силу и для межвременной модели с лагами любой длительности<sup>4</sup>.

Длительность лага может различаться по отраслям и годам периода. Эти различия увеличиваются, если в модели представлены отрасли с многолетними производственными циклами. Строки матриц затрат, повторяющиеся с некоторой регулярностью, формируют блоки, которые состоят из ряда годовых подблоков. Иллюстрацией может служить схема матрицы на рис. 8, относящейся к задаче с верхней блочно-треугольной структурой.

Шаг динамики такой модели определяется максимальным отраслевым лагом, длительность которого, таким образом, является наименьшей единицей времени в рамках данной модели. Норма дисконта в этом случае исчисляется исходя из темпа изменения оценок и длины шага времени как среднегодовая величина.

Перейдем теперь к описанию модели в общем виде при лагах, направленных вперед и назад.

## 5. Обобщенная модель межвременных связей

Имея в виду возможность расходования части продукции года в течение ряда лет, обозначим через  $a_{ij}^{(t)}$  затраты всех материальных ресурсов, какую бы роль они ни играли в производственном процессе.

<sup>4</sup> Путем замены переменных (как, напр., в [5]) она может быть сведена к модели с лагом в один год.

Обобщенная модель межвременных связей (пример)

		Прямая					
Двойственная	Переменные	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	Свободные члены
	$H_1$	$E - A_{11}$	$-A_{12}$				$\geq Z_1$
	$H_2$	$-A_{21}$	$E - A_{22}$	$-A_{23}$			$\geq 0$
	$H_3$		$-A_{32}$	$E - A_{33}$	$-A_{34}$		$\geq 0$
	$H_4$			$-A_{43}$	$E - A_{44}$	$-A_{45}$	$\geq 0$
	$H_5$				$-A_{54}$	$E - A_{55}$	$\geq Z_5$
	Свободные члены	$\leq P_1$	$\leq 0$	$\leq 0$	$\leq 0$	$\leq P_5$	

Эти коэффициенты затрат продукции отрасли  $i$ , выпускаемой в году  $t$ , на единицу продукции отрасли  $j$  в году  $\tau$  ( $t, \tau = 1, \dots, T$ ) образуют матрицы затрат  $A_{t\tau} = (a_{ij}^{(t\tau)})$ . Для прошлых затрат  $t < \tau$ , для будущих  $t > \tau$ ;  $|\tau - t| \leq \theta$ , где  $\theta$  — максимальный временной лаг между производством продукции и ее потреблением.

Прямая модель<sup>5</sup>:

$$\sum_{\tau=1}^T P_{\tau} X_{\tau} \rightarrow \min,$$

$$X_t - \sum_{\substack{\tau=1, \\ |\tau-t| \leq \theta}}^T A_{t\tau} X_{\tau} \geq Z_t, \quad t=1, \dots, T \quad (7)$$

( $Z_t = 0$  при  $t = \theta + 1, \dots, T - \theta$ ),

$$X_{\tau} \geq 0.$$

Двойственная модель:

$$\sum_{i=1}^T H_i Z_i \rightarrow \max,$$

$$H_{\tau} - \sum_{\substack{i=1, \\ |\tau-i| \leq \theta}}^T H_i A_{i\tau} \leq P_{\tau}, \quad \tau=1, \dots, T \quad (8)$$

( $P_{\tau} = 0$  при  $\tau = \theta + 1, \dots, T - \theta$ ),

$$H_t \geq 0.$$

Здесь  $t$  — номер года и блок-строки,  $\tau$  — номер года и блок-столбца матрицы модели, состоящей из  $T \times T$  блоков;  $X_{\tau}$  — вектор-столбец

<sup>5</sup> В [3, с. 59] рассматривается динамическая леонтьевская модель, в которой наряду с временными связями, направленными вперед, присутствуют и направленные назад: для прогноза на будущее используются приросты выпуска в ретроспективе. По смыслу и свойствам эта модель существенно отличается от обсуждаемой в настоящей работе.

переменных прямой модели — валовых выпусков продукции в году  $\tau$ ;  $H_t$  — вектор-строка переменных двойственной модели — оценок продукции в году  $t$ ;  $Z_t$  — вектор-столбец заданий по выпуску конечной продукции в последние годы планового периода,  $t=T-\theta+1, \dots, T$ , для использования в последующем периоде (при  $t>T$ ) и недопроизведенной в годы  $t=1, \dots, \theta$  из-за ущерба, причиненного в предыдущем периоде (при  $t<1$ );  $P_\tau$  — вектор-строка экзогенных затрат — прошлых, относимых на продукцию в годы  $\tau=1, \dots, \theta$ , и будущих — на продукцию в годы  $\tau=T-\theta+1, \dots, T$ .

Предполагается, что длина интервала планирования достаточно велика и что  $\theta \ll T$ .

Пример модели для  $T=5$  и  $\theta=1$  дан в табл. 2.

Межвременная модель может служить как для оценки продуктивности системы данной фиксированной структуры — тогда матрицы  $A_{t\tau}$  зависят только от величины  $\tau-t$ , так и для расчета конкретных траекторий развития — при переменных коэффициентах затрат. В первом случае темп изменения оценок является модельным аналогом нормы дисконта времени (нормы эффективности затрат).

\*

Выше были представлены различные аспекты интерпретации обратных временных связей, взаимовлияний прошлых и будущих затрат, сочетания выпуска конечной продукции с образованием потерь. Резюмируя, отметим, что по нашим представлениям, направление действия фактора времени, т. е. знак нормы дисконта, зависит от целевой ориентации системы на оси времени.

В современной экономике доминируют цели наиболее эффективного использования имеющихся в момент принятия решения трудовых и материальных ресурсов, чему отвечает положительная норма дисконта; накопленными благами дорожат больше, чем будущими, и предпочтительна неотложная и интенсивная эксплуатация запасов природных ресурсов. При этом достигается быстрый прогресс в продуктивности и организации техносферы, но ценой деградации экосистем с еще большей скоростью.

В случае преобладания цели минимизации будущих затрат норма дисконта становится отрицательной (оценки растут), и берет верх стратегия сбережения ресурсов, сдерживающая вовлечение в переработку их новых запасов и стимулирующая развитие технологии, адаптированной к естественным кругооборотам энергии и вещества.

Цель минимизации прошлых затрат отвечает процессу расширенного воспроизводства, а будущих — свернутого. В экономико-экологической системе эти процессы сосуществуют и взаимодействуют. Соответственно в двойственной модели с обратными временными связями каждый продукт получает по две оценки, одна из которых со временем снижается, а вторая — растет. Эти оценки объединяются в общую — с вогнутой и пологой траекторией.

Существующая методика дисконтирования не рассчитана на обратные временные связи и целиком ориентирована на минимизацию прошлых затрат. Она неприемлема в расчетах экономико-экологического характера на длительную перспективу (например, на 30—40 лет). В таких расчетах дисконтирование уместнее проводить раздельно: для благ, воспроизводимых в расширенном объеме — с положительной нормой дисконта, а для иссякающих в процессе воспроизводства — с отрицательной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Олдак П. Г. Современное производство и окружающая среда. Новосибирск, 1979.
2. Астахов А. С. Экономическая оценка запасов полезных ископаемых. М., 1981.
3. Tsukui, J., Murakami, Y. Turnpike Optimality in Input-Output Systems. Theory and Application for Planning. Amsterdam, 1979.
4. Моршима М. Равновесие, устойчивость, рост. М., 1972.
5. Мовшович С. М. Магистральный рост в динамических народнохозяйственных моделях. — Экономика и матем. методы, 1972, VIII, вып. 2, с. 256—265.

Представил К. Хабихт

Институт экономики  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
29/XII 1982

Илья KAGANOVITS

### SIHIPÄRASUS JA AJATEGUR LOODUSSÄÄSTLIKUS MAJANDUSES (AEGADEVAHELISTE SIDEMETE ANALÜÜSI TULEMUSTE ALUSEL)

Tootmisega keskkonnale tekitatud kaod ja kahjud saab majanduslikult avaldada tulevaste kulude kandmisega sellele toodangule, mille tootmine nad põhjustas. Artiklis on analüüsitud seejuures tekkivaid aegadevahelisi tagasisidemeid.

Traditsioonilistes majandusliku dünaamika mudelites, mis kajastavad vaid aegadevahelisi otsesidemeid toodangu suurenedes, sõltumata sihifunktsioonist ja rajatingimustest, duaalhinnangud alanevad. Seetõttu loetakse tavaliselt vaieldamatuks, et erinevatel aegadel tehtud kulude võrdlemisel on diskontonorm, mis on olemas duaalhinnangute dünaamikast, igal juhul positiivne suurus.

Käesolevas töös on püütud näidata, et aegadevaheliste tagasisidemete arvestamine otsesidemete kõrval annab nimetatud mudelil toodangu ja duaalhinnangute trajektoridele nõgusate kõverate kuju. Teiste tingimuste võrdsuse korral sõltuvad trajektoride omadused sihifunktsiooni parameetritest. See tähendab, et kasvutempod on mudelil suurusel ja märgilt muutuvad. Niisugustes mudelites võib toodangu suurenemisega kaasneva duaalhinnangute kasv, s.t. diskontonorm võib teatud tingimustel muutuda negatiivseks, mis vastab loodusvarade säästmise strateegiale.

Ajateguri majandusliku toime mitmesust on põhjendatud ja interpreteeritud aeg-ja harusidemete imitatsioonimodelleerimise teel. On käsitletud graafikutele esitatud arvumudelite analüüsi kvalitatiivseid tulemusi.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Majanduse Instituut

Toimetusse saabunud  
29. XII 1982

Илья KAGANOVICH

### GOAL ORIENTATION AND THE TIME FACTOR IN THE ENVIRONMENT-SAVING ECONOMY (ACCORDING IN THE RESULTS OF AN ANALYSIS OF INTERTEMPORAL RELATIONSHIPS)

Losses and damages caused to the environment by production processes have their economic expression in an induced by them future input of labour. The paper analyzes temporal feedbacks emerging if these future inputs are included in the cost of the present production which is responsible for them.

In conventional economic growth models with temporal feedforwards only, a growth of output and a decrease of shadow prices over time are appropriate whatever objective function and constraints are chosen. For this reason it is usually taken for granted that shadow prices are decreasing and thus the interest rate used for intertemporal comparison of costs has a positive value.

In the present study an attempt is made to demonstrate that if temporal feedbacks are taken into account together with feedforwards, then the type of dynamics of outputs and prices (as well as the sign of interest rate) will not be invariant any longer and will become dependent *ceteris paribus* on the parameters of the objective function. In particular, in the case when the objective function reflects a strategy for the saving of natural resources, a growth of shadow prices becomes possible, which means a negativity of interest rate.

A variety of types of economic influence of the time factor are motivated and interpreted proceeding from the results of simulation experiments with a model of intertemporal and intersectoral relationships. Qualitative results of the analysis of numerical examples are presented graphically and discussed.

Academy of Sciences of the Estonian SSR,  
Institute of Economy

Received  
Dec. 29, 1982