4. Раушенбах Г. В. Меры близости и сходства / Г. В. Раушенбах // Анализ нечисловой информации в социологических исследованиях. – М. : Наука, 1985. – С. 169–202.

5. Андреев В. Л. Статистические методы классификационных построений в биогеографии и систематике / В. Л. Андреев / Иерархические классификационные построения в географической экологии и систематике. – Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1979. – С. 60–96.

6. Дейвисон М. Многомерное шкалирование. Методы наглядного представления данных / М. Дейвисон ; Пер. с англ. В. С. Каменского. – М. :Финансы и статистика, 1989. – 175 с.

7. Кемени Дж. Кибернетическое моделирование. Некоторые приложения / Дж. Кемени, Дж. Снелл. – М. : Сов. радио, 1972. – 192 с.

УДК 330.115

В. А. ДИЛЕНКО
Одесский национальный политехнический университет

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

В статье построены оптимизационные модели развития системы взаимосвязанных производителей, которые позволяют учитывать влияние внешних и внутренних инновационных факторов, представлять различные социально-экономические цели эволюции данной системы

The optimization models of development of a system of interrelated producers which allow to take into account the influence of external and internal innovation factors and represent different socio-economic objectives of the evolution of this system is built in the article.

Ключевые слова: *математическая модель, система производителей, развитие, инновационные факторы, социально-экономические цели*

Постановка проблемы. Инновационные процессы являются важнейшим фактором развития современной экономики. Поэтому актуальным направлением в экономико-математическом моделировании является построение и анализ моделей инновационной деятельности, различных форм и путей ее реализации. При этом, учитывая высокую значимость исследования процессов влияния инноваций отдельных экономических субъектов на результаты функционирования взаимодействующих с ними, в том числе и в целом для всей их совокупности, особый интерес представляет построение математических моделей, отражающих инновационные процессы в системе технологически взаимосвязанных производителей (отраслей промышленности, крупных производственных предприятий и т.п.) и их воздействие на особенности достижения данной системой различных социально-экономических целей.

Анализ последних исследований и публикаций. Несмотря на особую важность инновационных процессов в системе производителей для экономического развития, вопросам их математического моделирования и исследования посвящено крайне небольшое количество научных публикаций.

В статье [5] строится и анализируется оптимизационная модель развития экономики, в которой в явном виде представлены “старые” и “новые” (инновационные) производственные технологии. Для новых технологий вводятся свои, отвечающие им элементы модели – матрицы коэффициентов материальных затрат, формирования капитала, капиталоемкости производства и т.п. К недостаткам модели нужно отнести то, что технико-экономические параметры новых технологий остаются фиксированными в течение всего моделируемого периода. Фактически модель не отражает развитие технологий, производственных фондов и т.п. под влиянием инновационных процессов. По сути можно говорить только о моделировании двух заданных технологий одного и того же производственного процесса.

В работах [2, 3, 6] достаточно детально исследуется математическое моделирование внедрения различного вида производственных инноваций в системе производителей, вводятся и анализируются различные показатели результативности инновационной деятельности в системе производственно взаимосвязанных предприятий, формулируются оптимизационные модели рациональной организаций данной деятельности. Однако построенные в указанных работах математические модели относятся к классу статических и соответственно плохо отражают процессы инновационного развития.

Целью статьи является построение математических моделей оптимального развития системы взаимосвязанных производителей, которые позволяли бы учитывать влияние различных инновационных факторов и отражать различные социально-экономические цели данного развития.

Основные результаты исследования. Если не учитывать влияния инновационных процессов на развитие технологически взаимосвязанных производителей, то их функционирование можно описать в духе математической модели, приведенной в [5]

$$X(t) = AX(t) + Cx_c(t) + A_K X_K(t), \tag{1}$$

$$lX(t) \le L, \tag{2}$$

$$[k]X(t) \le K(t-1), \tag{3}$$

$$K(t) = K(t-1) + X_K(t) - K_B(t), \tag{4}$$

где $X(t)$ – вектор выпуска в интервале времени *t*; A – матрица коэффициентов прямых материальных затрат; C – вектор структуры личного потребления (показывает пропорции между потребляемыми продуктами); $x_c(t)$ – уровень личного потребления (количество ассортиментных наборов C потребляемых в интервале времени *t*); $X_K(t)$ – вектор капитальных вложений (введения в эксплуатацию производственных фондов) по всем субъектам системы в соответствующем периоде времени; A_K – матрица коэффициентов формирования капитала, каждый столбец показывает количество продуктов (услуг), необходимое для осуществления единицы капитальных вложений соответствующего производителя; $K_B(t)$ – вектор выбытия капитала (производственных фондов) в период времени *t*; l – вектор трудоемкости по предприятиям; L – общее количество трудовых ресурсов, предполагается, что данная величина является неизменной для всего анализируемого периода; $K(t)$ – вектор общей величины производственных фондов для каждого предприятия в период времени *t*; $[k]$ – диагональная матрица коэффициентов капиталоемкости по производителям.

Соотношение (1) приведенной модели отражает направления использования произведенной предприятиями рассматриваемой системы продукции: производственные затраты $AX(t)$, личное потребление $Cx(t)$ и затраты на развитие производственных фондов $A_K X_K(t)$. Неравенство (2) является ограничением на трудовые ресурсы, которые может использовать система производителей. Соотношение (3) отвечает ограничениям на объемы производимой продукции, которые определяются имеющимися производственными фондами $K(t-1)$. Равенство (4) описывает динамику величины производственных фондов, которые формируются под воздействием процессов ввода в эксплуатацию новых $X_K(t)$ и выбытия части действующих $K_{\hat{A}}(t)$.

Величина $K_{\hat{A}}(t)$ может определяться исходя из предположения, что производственный капитал функционирует в течение τ лет, а затем полностью выводится из эксплуатации [5], или же, как это часто полагается (например, [1, с. 307]), ежегодно выбывает равными долями с некоторым коэффициентом выбытия γ, т.е. $K_B(t) = \gamma K(t-1)$.

Развитие системы предприятий в модели (1)–(4) представлено динамикой их производственных фондов (капитала) $K(t)$. Введем в данную модель инновационные факторы, непосредственно влияющие на процессы эволюции рассматриваемой системы. Это можно осуществить по двум направлениям:

– учитывать экзогенное для рассматриваемой системы позитивное воздействие НТП на эффективность вводимых в действие производственных фондов (внешний инновационные фактор);

– отражать процессы инновационной деятельности (внедрения производственных инноваций) внутри системы предприятий и за счет привлечения ресурсов самих предприятий (внутренний инновационный фактор).

Экзогенное воздействие инновационных процессов может учитываться в модели посредством использования диагональной матрицы $N(t)$ системы кинетических компонент, характеризующих рост с течением времени эффективности производственных фондов в соответствующих отраслях.

Элемент матрицы $e^{r_i t}$ отражает материализованный НТП в отрасли предприятия i (r_i – темп НТП) и характеризует увеличение (по сравнению с начальным периодом времени $t=0$) продуктивности производственных фондов, вводимых в действие в момент времени *t* [4, с. 91]. Тогда соотношение (4), описывающее динамику производственных фондов системы предприятий, приобретает вид:

$$K(t) = K(t-1) + N(t)X_K(t) - K_B(t). \tag{5}$$

В данном равенстве произведение $e^{r_i t} x_i^K(t)$ соответствует величине производственных фондов ($x_i^K(t)$ – элемент вектора $X_K(t)$), вводимых в эксплуатацию в момент времени *t*. Здесь предполагается, что действие материализованного НТП учитывается в форме, принятой в теории производственных функций, когда объемы используемых в различные моменты времени производственных факторов приводятся к одинаковой их эффективности, в качестве которой рассматривается эффективность в момент времени $t = 0$ [1, с. 301–302].

С целью учета в модели эндогенных инновационных процессов будем полагать, что произведенная продукция направляется предприятиями не только на ввод в действие новых производственных фондов и удовлетворение конечного спроса, но и совершенствование технологий использования действующих фондов за счет введения соответствующих инноваций, что приводит в конечном итоге к уменьшению прямых материальных затрат на величины $\Delta_{ij}(t)$ [2]. Тогда балансовое равенство (1) должно заменяться следующей системой соотношений:

$$X(t) = A(t)X(t) + Cx_c(t) + \\ + A_K X_K(t) + \sum_{j=1}^{n} A_j^{È} D_j(t), \tag{6}$$

$$A(t) = A(t-1) - D(t-1), \tag{7}$$

$$D(t) = \begin{pmatrix} \Delta_{11}(t)\ldots\Delta_{1j}(t)\ldots\Delta_{1n}(t) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \Delta_{i1}(t)\ldots\Delta_{ij}(t)\ldots\Delta_{in}(t) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \Delta_{n1}(t)\ldots\Delta_{nj}(t)\ldots\Delta_{nn}(t) \end{pmatrix}, \tag{8}$$

$$A(t) \geq \underline{A}, \tag{9}$$

где $A(t)$ – матрица значений коэффициентов прямых материальных затрат в период времени t; $D_j(t)$ – столбец j матрицы инновационной деятельности в системе предприятий $D(t)$; $A_j^{È}$ – матрица коэффициентов затрат инновационной деятельности предприятия j, элементы столбца k данной матрицы характеризуют затраты продуктов каждого из предприятий системы, необходимые для снижения прямых затрат a_{kj} предприятия j на единицу, элементы строки l данной матрицы отвечают затратам продукции вида l на единичное снижение соответствующих прямых затрат a_{ij}, $i = \overline{1, n}$ предприятия; $\underline{A}$ матрица минимально допустимых значений коэффициентов прямых материальных затрат $\underline{a}_{ij}$.

Учитывая содержательную интерпретацию элементов матриц $D(t)$ и $A_j^{È}$ произведение $A_j^{È} D_j(t)$ представляет собой затраты продукции всех предприятий системы на инновационную деятельность предприятия j, характеризуемую снижением прямых затрат a_{ij} , $i = \overline{1, n}$ на величины $\Delta_{ij}(t)$, $i = \overline{1, n}$ вектора $D_j(t)$.

Неравенство (9) представляет собой ограничения на максимально допустимое (например, по технологическим соображениям) снижение в результате инновационной деятельности коэффициентов прямых материальных затрат.

Используя математическое описание процессов функционирования системы производственно взаимосвязанных предприятий (1)–(4) с модификациями, отражающими воздействие внешних и внутренних инновационных факторов в форме (5)–(9), можно формулировать различные оптимизационные задачи эффективного развития данной системы. При этом в качестве критериев эффективности могут рассматриваться:

– максимизация суммарной за рассматриваемый интервал времени величины личного потребления без учета:

$$\sum_{t=1}^{T} x_c(t) \to \max, \tag{10}$$

и с учетом обесценивания благ во времени [1, с. 289]:

$$\sum_{t=1}^{T} x_c(t)(1+d)^{1-t} \to \max, \tag{11}$$

где T –продолжительность анализируемого периода времени; d – дисконт потребления;

– максимизация общего объема произведенной продукции:

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n} x_i(t) \to \max, \tag{12}$$

– максимизация общей величины производственных фондов на конец планового периода T:

$$\sum_{i=1}^{n} K_i(T) \to \max, \tag{13}$$

где $x_i(t)$ – элемент i вектора $X(t)$, $K_i(T)$ – величина производственных фондов производителя i в интервале времени T .

Критерии (10), (11) имеют явную социальную направленность, считая основной целью функционирования системы производственных предприятий максимальное удовлетворение личных потребностей. В свою очередь критерии (12), (13) ориентируются на приоритетное развитие системы предприятий, ее производственных фондов. Увязать указанные два направления развития можно путем использования при критериях одного типа ограничений, отражающих цели эволюции рассматриваемой системы соответствующие критериям иной направленности. Например, если критериями являются (12) или (13), то в рамках соответствующей оптимизационной задачи целесообразно учитывать ограничения социального характера вида:

$$\sum_{t=1}^{T} x_c(t) \geq \underline{x}_c \tag{14}$$

или

$$x_c(t) = f(t), \tag{15}$$

где $\underline{x}_c$ – минимально допустимый объем личного потребления за рассматриваемый период, $f(t)$ – заданная функция времени.

Неравенство (14) предполагает, что при любой траектории развития системы производственных предприятий суммарные объемы личного потребления были не ниже некоторого граничного значения $\underline{x}_c$. Соотношение (15) может экзогенно задавать закон $f(t)$ роста объемов личного потребления, которое должно сопровождать развитие производственной базы системы предприятий. В [1, с. 283] закон $f(t)$ используется в экспоненциальной форме. Аналогичным образом, при использовании критериев (10), (11) целесообразно рассматривать ограничения, определяющие необходимые ориентиры развития производственных фондов системы предприятий в форме соотношений вида (14), (15) для величины производственных фондов $K(t)$ и общих объемов произведенной продукции $X(t)$.

При записи конкретных оптимизационных задач эффективного развития системы предприятий критерии (10)–(13) могут использоваться с различными сочетаниями соотношений, описывающих возможные варианты организации инновационных процессов в системе.

Если рассматриваются ограничения (1)–(3), (5), то имеем задачу оптимального развития (определяемого выбором значений переменных $X(t)$, $x_c(t)$, $X_K(t)$) системы производителей, которая учитывает только экзогенный инновационный фактор в форме материализованного НТП. Формально такая математическая постановка будет относиться к классу задач линейного программирования.

В случае использования с соответствующими критериям ограничений (2)–(4), (6)–(9) полученная математическая постановка будет отражать только внутренние инновационные процессы в системе предприятий, связанные с внедрением производственных инноваций. В математическом плане такая задача определения не только $X(t)$, $x_c(t)$, $X_K(t)$, но и $D(t)$ является задачей нелинейного математического программирования за счет нелинейности (произведения искомых переменных) в соотношении (6).

При описании функционирования предприятий с помощью соотношений (2), (3), (5)–(9) получаем математическую модель, которая воспроизводит как внешние, так и внутренние инновационные процессы для рассматриваемой системы производителей, и представляет собой задачу нелинейного программирования.

Выводы. Построены математические модели оптимального социально-экономического развития системы технологически взаимосвязанных производителей, которые учитывают не только экстенсивные факторы (простое увеличение производственных фондов), но и влияние экзогенных (в форме НТП нейтрального по Солоу) и эндогенных (приводящих в итоге к снижению прямых материальных затрат) инновационных процессов.

Литература

1. Гранберг А. Г. Моделирование социалистической экономики / А. Г. Гранберг. – М. : Наука, 1988. – 487 с.
2. Диленко В. А. Математические модели рациональной организации внедрения инноваций в системе производственно взаимосвязанных предприятий / В. А. Диленко // Вісник Приазовського державного університету : Зб. наук. пр. – Вип. № 16. – 2006. – С. 266–269.
3. Диленко В. А. Анализ эффективности инновационной деятельности в системе взаимосвязанных производителей / В. А. Диленко // Актуальні проблеми економіки. – 2005. – № 11. – С. 183–190.
4. Плакунов М. К. Производственные функции в экономическом анализе / М. К. Плакунов, Р. Л. Раяцкас. – Вильнюс : Минтис, 1984. – 308 с.
5. Рябошлик В. Динамічна модель витрат-випуску з явним відображенням інноваційних технологій / В. Рябошлик // Економіст. – 2004. – № 9. – С. 49–53.
6. Савчук А. В. Экономическая оценка результатов инновационной деятельности в системе промышленных предприятий / А. В. Савчук, В. А. Диленко // Актуальні проблеми економіки. – 2002. – № 12. – С. 89–97.