

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СДВИГОВ

*Адамович О. С., Мамышева Н. А.*

(Москва)

Обсуждается одна из возможных теоретических моделей развития НТП, представляющая собой ансамбль из трех теорий: длинных волн, диффузии и смены технико-экономических уровней производства. Модель позволяет исследовать воздействие различных стратегий в инвестиционной и технической политике на макропоказатели экономического роста на перспективе. Прогнозные расчеты по модели применялись при подготовке предложений к Концепции социально-экономического развития и КП НТП СССР на 1991—2010 гг.

Важнейшая задача коренной перестройки хозяйственного механизма — создать благоприятную экономическую среду для внедрения в производство достижений науки и техники.

Необходимо повысить восприимчивость экономики к их ускоренному освоению, поднять наукоемкость всего производства. При этом, как показывает опыт передовых стран, элементы рыночного регулирования должны гибко сочетаться с активной политикой государства, особенно в области дорогостоящих, но перспективных с точки зрения всего общества научно-технических проектов.

Такая политика невозможна без учета закономерностей распространения новых технологий. Здесь возникает множество проблем: прогноз проникновения новых технологий на рынок [1, 2] и вытеснения ими старых [3—7], анализ условий и последствий появления продуктов как результата изобретений и внедрения прогрессивной техники и технологий [8, 9]; исследования S-кривой распространения новых технологий [10—15], их жизненного цикла [16, 17] и т. д. Плодотворным представляется изучение связи этих процессов с длинными волнами в экономическом развитии [18—20].

Важнейшим следствием внедрения прогрессивной техники и технологий является повышение технико-экономического уровня (ТЭУ) всего производства, что характеризует скорость НТП в обществе [21]. Техничко-технологическая неоднородность производства обуславливает его расслоение на несколько групп с различным ТЭУ. Данную структуру в дальнейшем мы называем уровневой.

Предлагается подход к модельному исследованию факторов НТП, меняющих уровневую структуру, а также к анализу результатов воздействия этих изменений на основные показатели экономического роста.

### 1. НТП И СМЕНА ТЭУ ПРОИЗВОДСТВА

Влияние НТП на экономический рост стало выдвигаться в число важнейших проблем, начиная с 50-х годов (весомый вклад в изучение этого внес лауреат Нобелевской премии 1987 г. Р. Солоу [22]). В 70—80-х годах дальнейшее развитие и соответствующие исследования развернулись в Международном институте прикладного системного анализа в Вене [23—26], определенные работы проведены и в СССР [27—30]. В основе большинства из них лежит теория длинных волн Кондратьева [31], который связал механизм их колебаний с изменчивостью цен, процессом накопления капитала, темпами производства, динамикой нововведений. Чрезвычайно конструктивным дополнением к его теории стало положение Й. Шумпетера о волнообразности нововведений и



инновационной активности предпринимателей как главной компоненты в механизме длинных циклов [32].

Концепция длинных волн позволила связать волны хозяйственной активности с воздействием НТП на экономический рост, а неравномерность развития самого НТП — с изменением интенсивности нововведений и различием в механизме появления кластеров инноваций различного типа: базисных, улучшающих, нововведений-процессов, нововведений-продуктов и т. д. (об основных направлениях в теоретических исследованиях неравномерности НТП см. [33]).

Синтез теории диффузии технологий с теорией длинных волн открывает новые возможности для исследования того, как коротковолновый процесс внедрения отдельных технологий по мере адаптации инноваций к требованиям практики, экономической среды и времени, преобразуется в процесс накопления информации, опыта, мастерства, технических усовершенствований, в процесс, который образует инерционную составляющую развития экономики под воздействием НТП (роль накопления опыта как фактора, объективного и определяющего развитие НТП, особо подчеркивается в [18]).

В качестве одной из возможных моделей развития НТП ниже рассматривается ансамбль из трех теорий: длинных волн, диффузии и смены ТЭУ. Не претендуя на объяснение всех сторон научно-технического развития, такая модель предназначена, прежде всего, для практического исследования влияния технологических сдвигов на экономическое развитие в целом. В соответствии с ней логика развертывания НТП выглядит следующим образом.

Источком, ключевым моментом для каждого длительного цикла в процессе экономического развития, как показывает история, служат фундаментальные открытия, коренным образом меняющие наши представления о способах, направлениях и целях преобразования окружающего мира. В 1929 г. П. А. Флоренский в письме к В. И. Вернадскому писал: «...присматривающемуся к ходу развития промышленности не может не быть очевидным, что промышленность будущего, и может быть близкого будущего, станет биопромышленностью, что за электро-техникой, почти сменившей паротехнику, идет биотехника...» [34, с. 198]. Сейчас становится все более очевидно, что развертывание техноэволюции в этом направлении не только возможно и закономерно, но и жизненно необходимо для человечества: только овладение технологиями, лежащими в основе природного биогенеза, способно остановить фатально развивающийся и охватывающий весь мир экологический кризис.

Дальнейшее течение инновационного процесса состоит во всестороннем освоении фундаментального открытия, в распространении его следствий на все стороны человеческой деятельности и носит, по существу, экстенсивный характер. Фундаментальное открытие порождает, как правило, несколько крупных технологических этапов, каждый из которых имеет свою базовую технологию. Такой этап — это определенная ступень в освоении инновационного потенциала фундаментального открытия, несущая с собой смену базовой технологии, что однако не означает уничтожения или полного вытеснения предыдущих; скорее, меняются акценты, приоритеты в использовании производственных ресурсов. Прежние технологические достижения служат той питательной средой, в которой только и может в полную меру развернуться новая базовая технология.

Она иницирует свой кластер технологий, целостную систему инноваций, основанных на научных и технических принципах базовой технологии и охватывающих различные сферы производства и социальной среды. Преобразуя технологически связанные процессы в различных отраслях и секторах экономики, такой кластер широким фронтом воздействует на изменение условий и способов всего производства, а в конечном счете, жизнедеятельности человека в целом. Он способен, с одной стороны, легче, чем отдельно взятое новшество, преодолевать препятствия на пути диффузии, а с другой, создает препятствия для про-



никновения конкурирующих технологий: инновации, не вписывающиеся в кластер технологий как систему, в итоге становятся практически бесперспективными для данного этапа технологического развития.

Согласно такому пониманию, открытие электричества, например, обусловило развитие ряда базовых технологий, таких, как практическое применение автомобиля, промышленное использование автоматов, роботов, компьютерной техники (представляется, что последнее направление можно пока считать вершиной достижений электротехники). Каждая из этих технологий разворачивалась на основе множества инноваций в различных областях экономической и социальной жизни.

Цикличность общего движения является следствием разворачивания жизненного цикла как отдельных технологий и кластеров, так и всего процесса инновационного использования фундаментального открытия: за его появлением идут фазы быстрого распространения, зрелости и упадка. Последние две характеризуют исчерпание инновационных возможностей открытия, ведут к стагнации и снижению поступления базовых технологий в экономику. Это, как правило, вызывает нарастание трудностей как экономического, так и социального характера, а они, настоятельно требуя разрешения и не находя его в рамках сделанного фундаментального открытия, могут ускорить появление и разворачивание нового. Такую роль, по нашему мнению, может сыграть усиливающийся общий экологический кризис.

Первые две фазы сопровождаются достаточно интенсивным поступлением в экономику базовых технологий, что создает основу для длительного экономического роста, приводя к накоплению технических и технологических усовершенствований, а значит, к улучшению качества применяемых в производстве техники и технологий. Совершенствование технологической инфраструктуры еще более повышает восприимчивость экономики к широкому внедрению новшеств, что создает новые предпосылки к продлению фазы экономического подъема.

В рамках изложенной логики связь между диффузией отдельных технологий и длинноволновых колебаний экономического развития вполне очевидна. Она — не прямая и проявляется в том, что в основе кумулятивного процесса инновационного освоения фундаментального открытия (который служит инерционной составляющей развития экономики в условиях НТП) лежат диффузии отдельных технологий. Концепция смены ТЭУ определяет подход к моделированию динамики, а также анализу влияющих факторов процесса освоения фундаментального инновационного потенциала в ходе систематических усовершенствований и расширения возможностей технологий по мере накопления опыта их использования в производстве.

Ключевая компонента концепции смены ТЭУ — рассмотрение производства в разрезе трех технологических составляющих: недавно появившейся, технически и технологически прогрессивной и растущей; в фазе зрелости, замедляющейся в росте и стагнирующей; и наконец, стареющей и идущей на спад. Каждая составляющая характеризуется своим ТЭУ: высоким, средним и низким. Этому соответствует деление используемых в процессе производства технических и трудовых ресурсов на три группы. К первой относятся ресурсы, составляющие материально-техническую и квалификационную основу технологий, которые находятся в фазе быстрого роста; ко второй — образующие базу технологий, которые пребывают в фазе замедления роста и выхода на его пределы, наконец, к третьей — поддерживающие те технологии, которые уже угасают и отмирают. Технологии, находящиеся в фазе зарождения, не являются частью промышленного производства. Поэтому закономерности их развития в предлагаемой концепции могут учитывать только экзогенно.

Производства с различным ТЭУ конкурируют за ресурсы. Это приводит к процессам замещения и вытеснения технически и технологически устаревших более прогрессивными. Вместе с тем, новые технологии могут развиваться и в полную меру проявлять свои преимущества



лишь в соответствующей экономико-технологической среде с должным образом развитой инфраструктурой, а у старых в условиях развертывания новшеств могут открыться дополнительные возможности. Сохранение развитых технологий в ходе становления новых необходимо и для того, чтобы в случае бесперспективности или отрицательных последствий нового направления оставались бы пути для «отступления» и перехода в другое направление. Технологическая неоднородность видна в одновременном динамическом сосуществовании производств с различным ТЭУ.

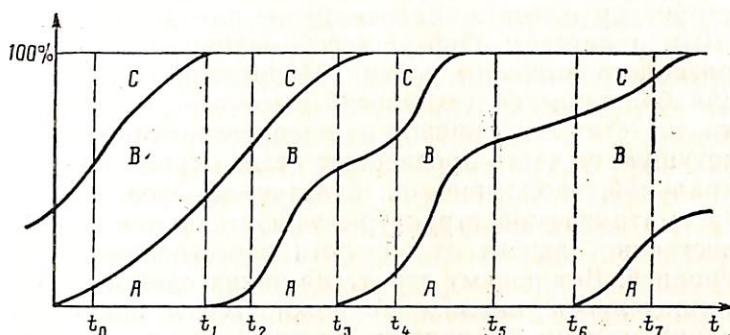


Рис. Схема изменения уровней структуры (в %) во времени ( $t$ ): А — высокий ТЭУ, В — средний ТЭУ, С — низкий ТЭУ

Имея в виду движение ТЭУ производства, можно анализировать и кратковременную компоненту технологических сдвигов, обусловленную диффузией отдельных технологий, и долговременную — кумулятивный процесс освоения и использования кластеров технологий. Процесс смены ТЭУ производства является циклическим по обоим своим компонентам (см. рисунок).

Согласно нашим представлениям, в ходе технического прогресса происходит периодическая смена уровней структуры экономики. Появление новых технологий и распространение их в производстве вызывает рост доли предприятий с высоким ТЭУ. Это, в свою очередь, ведет к увеличению удельного веса производства с высоким ТЭУ и снижению — с низким уровнем. На рисунке это периоды  $(t_0, t_1)$ ,  $(t_2, t_3)$ ,  $(t_4, t_5)$ ,  $(t_6, t_7)$ , ... Однако расширение масштабов применения технологий, составляющих верхний уровень, ограничено возможностями совершенствования технологических параметров, перестройки структуры и организации производства. Связано это, вероятнее всего, с существованием определенного эффективного масштаба не только для отдельно взятых технологий, но и для всего множества, составляющего содержание высокого ТЭУ экономики.

Достижение пределов роста сопровождается стагнацией или даже ухудшением экономических показателей развития. Наступает «переломный» период, в котором возникает потребность в принципиально новом технологическом решении для перестройки структуры и функционирования экономической системы, для изменений в характере использования экономических ресурсов, прорыва на новый масштабный уровень. На рисунке:  $(t_1, t_2)$ ,  $(t_3, t_4)$ ,  $(t_5, t_6)$ , ... Если к этому времени накопление и синтез предшествующих достижений подготовили появление такого решения (периоды  $(t_1, t_2)$ ,  $(t_3, t_4)$ , ...), то фаза экономического подъема продолжается и может даже сопровождаться ускорением.

Однако разнообразие принципиальных технологических решений далеко не беспредельно. Поэтому дальнейшее развитие экономики может быстро войти в фазу стагнации или даже депрессии (период  $(t_5, t_6)$ ) и находиться в этом состоянии до тех пор, пока будет найдено решение. Но если отсутствие новых решений связано с исчерпанием инновационного потенциала прежнего фундаментального открытия, то период рецессии может оказаться затяжным, и лишь технологическое



освоение нового фундаментального открытия укажет выход из него. После прохождения одного переходного периода ТЭУ, бывший высоким, становится средним, а по прошествии еще одного — низким, исчезающим. Таким образом, наступление периодов расцвета высокого ТЭУ производства и их замещение переходными периодами в данной концепции связано с длинноволновой компонентой технического прогресса, а коротковолновая воплощается в изменении формы кривых роста доли высокого ТЭУ, стагнации и снижения долей среднего и нижнего уровней.

Соотношение уровней в конкретный момент времени характеризует уровневую структуру объекта. Ее изменение следует отнести к частично управляемым процессам. Оно не всегда сопровождается возрастанием доли производств высокого уровня. Например, этого может не происходить, если большинство технологий высокого уровня находится на нижней части логистической кривой их распространения или если выход на быстрорастущую ее часть предвещает резко отрицательные последствия для социальной, экологической, культурной сфер. Скорость преобразования рассматриваемой структуры экономики или технологических сдвигов существенно зависит от близости качественных характеристик различных уровней. Вот почему стратегия таких сдвигов должна основываться на тщательном анализе возможностей и последствий роста, соответствующих разным вариантам. Каждый из них нужно оценивать и с точки зрения необходимых затрат.

Следует признать справедливость суждений Й. Шумпетера о том, что появление и развертывание технологических сдвигов во многом зависят от изобретательского гения и таланта в организации практического применения изобретений, от исторических условий общественного развития. Но при равенстве этих обстоятельств ведущую роль среди экономических факторов играет распределение производственных ресурсов (инвестиционных, трудовых, а также основных производственных фондов (ОПФ)) между новым и старым производствами. Прогноз результатов избираемой политики такого распределения (или влияния конкретных пропорций роста производств с различным ТЭУ на экономический рост) возможен с помощью экономико-математической модели, описывающей представленные здесь теоретические взгляды на закономерности экономического развития в условиях технологических сдвигов.

## 2. МОДЕЛЬ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СДВИГОВ

Рассматриваемая далее эконометрическая модель принадлежит к неоклассическим моделям экономического роста, описывает материально-вещественную структуру хозяйственного макрообъекта и взаимодействие между отдельными видами производств, по типу компьютерной реализации является «гибкой», т. е. предполагает использование режима диалога\*.

Динамика развития макроэкономического объекта отображается в модели четырьмя блоками. Инвестиционный блок представляет собой зависимость между объемом произведенной макрообъектом продукции и размерами капитальных вложений, выделяемых на его дальнейшее развитие. Блок динамики ОПФ описывает изменение объема основных фондов в ходе их обновления, выбытия и технического перевооружения. Динамика пропорций роста фондов на различных уровнях определяется выбором инвестиционной политики и стратегии технического перевооружения. Блок трудовых ресурсов отражает на каждом уровне их динамику, соответствующую задаваемым темпам прироста фондовооруженности. И наконец, производственный блок описывает, что происходит с объемом выпуска продукции при изменениях указанных факторов.

\* Согласно классификации [35], она относится к классу моделей второго поколения.



По теории Шумпетера, технический прогресс можно учесть через изменение формы производственной функции (ПФ). В структурной модели осуществляется именно этот принцип: рост прогрессивности производства с повышением уровня приводит к изменению формы ПФ: каждому ТЭУ соответствует своя ПФ (предусмотрена возможность использования CES-функций и функций Кобба — Дугласа с конкретным выбором типа функции в диалоговом режиме). Общий объем выпускаемой продукции получается суммированием по производствам с различными ТЭУ.

Параметры уравнений каждого блока определяются регрессионными методами по ретроспективным данным (основным для оценивания нелинейных регрессий является разработанный нами комплексный метод сопряженных градиентов и штрафных функций, для линейных регрессий применяется традиционный МНК). Затем на ретроспективе модель как целое с найденными параметрами также проверяется на близость к реальным траекториям. При существенных расхождениях оценивание отдельных подмоделей проводится вновь, и т. д. С помощью такой итеративной процедуры определяются окончательные параметры, которые используются как базовые в прогнозных расчетах. В прогнозе любой из них может быть задан в динамике  $k$ -леток (например, пятилеток: так, в прогнозе до 2010 г., начиная с 1985 г., содержится пять пятилеток; в прогнозе для любого из параметров модели можно задать пять возможных значений).

Реализовано две версии модели: одно- и двухсекторная. Первая, для которой реализован оптимизационный режим расчетов, описывает макрообъект состоящим из трех частей. Каждая из них характеризуется своим технико-экономическим уровнем производства. Вторая представляет объект как состоящий из двух секторов с возможностью подразделения любого на две либо три части со своим ТЭУ. В этой версии реализована оценка разных вариантов распределения общих инвестиций между секторами.

Модель содержит следующее множество уравнений.

Инвестиционный блок

$$I_t = \psi Y_{t-1}, \quad (1)$$

$$I_{lnc}^j = \alpha^j (1 - \alpha_{lnc}^j) \alpha_{lnc}^j I_t, \quad l \in A^j, \quad j \in J, \quad (2)$$

$$I_{ltp}^j = \alpha^j \alpha_{ltp}^j \alpha_{ltp}^j I_t, \quad l \in A^j, \quad j \in J. \quad (3)$$

Блок динамики ОПФ

$$K_{lt}^j = K_{l-1,t}^j - \mu_l^j K_{l-1,t}^j + \beta_{lnc}^j I_{lnc}^j + \beta_{ltp}^j I_{ltp}^j + \beta_{ltp}^j \sum_{s=1}^{l-1} \gamma_{l-s,l}^j \delta_{l-s,l}^j K_{l-1,t-s}^j - \sum_{s=1}^{s_0^j-1} \delta_{l/s+1}^j K_{l-1,t}^j, \quad l \in A^j, \quad j \in J. \quad (4)$$

Блок динамики трудовых ресурсов

$$L_{lt}^j = L_{l-1,t}^j (K_{lt}^j / K_{l-1,t}^j) / (1 + f_l^j), \quad l \in A, \quad j \in J. \quad (5)$$

Блок производственных функций

$$Y_{lt}^j = F_l^j(K_{lt}^j, L_{lt}^j, K_{0t}^j, L_{0t}^j, t), \quad l \in A^j, \quad j \in J, \quad (6)$$

$$Y_t = \sum_{j \in J} \sum_{l \in A^j} Y_{lt}^j, \quad (7)$$

где  $A^j$  — множество ТЭУ производства в структуре сектора  $j$ ;  $J$  — множество секторов экономики;  $K_{lt}^j$  — объем ОПФ производств  $l$ -го ТЭУ сектора  $j$  в момент  $t$ ;  $L_{lt}^j$  — численность занятых в производствах  $l$ -го ТЭУ сектора  $j$  в момент  $t$ ;  $Y_{lt}^j$  — объем выпуска продукции производствами  $l$ -го ТЭУ сектора  $j$  в момент  $t$ ;  $I_t$  — объем общих капитальных вложений, направляемых на развитие макрообъекта;  $I_{lnc}^j$  — инвестиции в



новое строительство в производствах  $l$ -го ТЭУ сектора  $j$  в момент  $t$ ;  $I_{ltп}^j$  — инвестиции на техническое перевооружение производств  $l$ -го ТЭУ сектора  $j$  в момент  $t$ ;  $\psi$  — показатель условной нормы накопления;  $\mu_l^j$  — коэффициент ликвидационного выбытия ОПФ производств  $l$ -го ТЭУ сектора  $j$ ;  $\beta_{лс,тп}^j$  — коэффициенты освоения капитальных вложений, идущих в секторе  $j$  соответственно на новое строительство и техническое перевооружение;  $\alpha^j$  — доля общих капитальных вложений, идущая в сектор  $j$ ;  $\alpha_{тп}^j$  — доля капитальных вложений в сектор  $j$ , идущая на техническое перевооружение;  $S_0^j$  — число ТЭУ производств в секторе  $j$ ;  $\alpha_{лс}^j$  — доля производств  $l$ -го ТЭУ в капитальных вложениях сектора  $j$

на техническое перевооружение,  $\sum_{l=1}^{S_0^j} \alpha_{лс}^j = 1$ ;  $\alpha_{лс}^j$  — доля производств

$l$ -го ТЭУ в капитальных вложениях сектора  $j$  на новое строительство,

$\sum_{l=1}^{S_0^j} \alpha_{лс}^j = 1$ ;  $\gamma_{l-s/l}^j$  — доля фондов сектора  $j$ , не выбывших при техническом

переворужении, приводящем к повышению их уровня с  $l-s$  — до  $l$ ;  $\delta_{l/l+s}^j$  — доля в секторе  $j$  фондов уровня  $l$ , подвергшихся техническому перевооружению в целях их повышения до уровня  $l+s$ ;  $f_l^j$  — темпы прироста фондовооруженности в производствах  $l$ -го ТЭУ сектора  $j$ ;  $F_l^j$  — ПФ, описывающая преобразование факторов производства в выпуск продукции производствами  $l$ -го ТЭУ сектора  $j$ .

Для CES-типа такая функция имеет вид

$$Y_{lt}^j = Y_{lt_0}^j a_l^j \exp((t - t_n) p_l^j) [b_l^j (K_{lt}^j / K_{lt_0}^j)^{-\rho_l^j} + (1 - b_l^j) (L_{lt}^j / L_{lt_0}^j)^{-\rho_l^j}]^{-1/\rho_l^j},$$

где  $t_n$  — начальный год ретроспективного периода;  $t_0$  — год нормировки;  $a_l^j$ ,  $p_l^j$ ,  $b_l^j$ ,  $\rho_l^j$  — параметры CES-функции для производств  $l$ -го ТЭУ в секторе  $j$ .

В случае функции Кобба — Дугласа это

$$Y_{lt}^j = Y_{lt_0}^j a_l^j \exp((t - t_n) p_l^j) (K_{lt}^j / K_{lt_0}^j)^{b_l^j} (L_{lt}^j / L_{lt_0}^j)^{\rho_l^j},$$

где  $a_l^j$ ,  $p_l^j$ ,  $b_l^j$ ,  $\rho_l^j$  — параметры функции Кобба — Дугласа для производств  $l$ -го ТЭУ в секторе  $j$ .

В качестве основных управляющих воздействий на уровневую структуру моделируемого объекта выступают следующие факторы. Прежде всего, распределение капитальных вложений на расширение и техническое перевооружение ОПФ по производствам разных ТЭУ. Изменяя соотношение указанных инвестиций, можно управлять интенсивностью наращивания объемов ОПФ различных ТЭУ. Далее — вариация динамики нормы накопления. То и другое характеризует возможности воздействия инвестиционной политики на сдвиги в техническом уровне ОПФ.

Третья группа факторов включает изменения:

объема ликвидационного выбытия ОПФ на разных технических уровнях экономики;

объемов незавершенного строительства и незавершенной реконструкции;

перетока ОПФ при их техническом перевооружении, переводящем фонды с нижних на более высокие ТЭУ производства;

выбытия ОПФ в ходе их реконструкции и модернизации (чем меньше отличаются технико-экономические характеристики производств различных уровней, тем меньше объем выбытия).

В целом эта группа отражает воздействие улучшения технического «качества» ОПФ на повышение ТЭУ всего производства.

Наконец, мощным фактором преобразования всей уровневой структуры производства является введение новых и совершенствование ста-



рых технологических процессов в производствах отдельных ТЭУ. Это и соответствующие изменения в уровне квалификации и численности трудовых ресурсов характеризуются изменением скорости роста фондовооруженности труда для производств разных ТЭУ. Как правило, повышение технико-экономического уровня производства означает высвобождение рабочей силы, особенно низкоквалифицированного труда. Но в сфере высокопрогрессивных производств НТП нередко дает иные варианты развития, в частности, там, где персональные компьютеры вытесняют дорогостоящие супер-ЭВМ. В таких случаях при расширении масштабов производства рост занятых не сопровождается пропорциональным наращиванием стоимости основных фондов, но продуктивность труда существенно возрастет за счет привлечения специалистов, знающих предметную область (вместо узких, владеющих тонкостями программирования).

В модели названные факторы представлены, согласно принятым обозначениям, следующими взятыми в динамике показателями: (1)  $\alpha^j$ ,  $\alpha_{тп}^j$ ,  $\alpha_{ис}^j$   $\forall j$  и  $l$ ; (2)  $\psi$ ; (3)  $\mu^j$ ,  $\beta_{ис,тп}^j$ ,  $\delta_{l/l+s}^j$ ,  $\gamma_{l-s/l}^j$   $\forall j$  и  $l$ ; (4)  $f_l^j$   $\forall j$  и  $l$ . Расчеты свидетельствуют, что, как правило, вариация первой группы параметров сравнительно слабо влияет на прогноз. Более сильное влияние оказывает группа (3). Параметры второй группы ухудшают показатели эффективности развития в перспективе, а самой сильной по воздействию является группа (4).

Согласно модели, производства разных ТЭУ развиваются взаимосвязанно: инвестиции у них общие; вследствие технического перевооружения происходят перетоки основных фондов с нижних на верхние уровни; из-за общего ограничения на трудовые ресурсы производства разных уровней связаны и по этому показателю. Кроме того, общая для них величина капитальных вложений, «зарабатываемых» на развитие, пропорциональна суммарной продукции, выпущенной на всех уровнях. В здоровой экономике основной закономерностью развития является наращивание производств верхнего (прогрессивного) и вытеснение производств нижних ТЭУ, технически и технологически устаревающих, как это представлено на рисунке. В зависимости от изменения управляющих параметров процесс этот может быть ускорен, замедлен или вообще остановлен. И конкретный вид траекторий, изображенных на рисунке, будет меняться. Модель, «настроенная» на начало какого-либо периода «расцвета» верхнего уровня, может применяться для прогноза внутри этого интервала. Для проведения расчетов в следующем периоде необходимо ввести в нее стандартное описание нового верхнего уровня. При этом уровень, бывший  $A$ , станет уровнем  $B$ , а  $B$  — уровнем  $C$ .

### 3. ПРОГНОЗНЫЕ РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ

Для расчета по модели прогнозных вариантов экономического развития разработан пакет программ на языке ФОРТРАН для СМ-1420 и ПЭВМ.

При двухсекторной версии на входе модели для момента времени  $t_0$ , с которого будет рассчитываться прогноз, задаются значения векторов  $\vec{K}_{t_0}^j$ ,  $\vec{L}_{t_0}^j$ ,  $\vec{Y}_{t_0}^j$ , а также параметров уравнений типа (1) — (6) для всех уровней производства обоих секторов экономики в динамике по  $k$ -леткам.

В итоге на выходе получается прогноз экономического развития, зависящий от динамики изменений управляемых параметров.

Прогноз можно рассчитывать и в режиме получения оптимальных (с точки зрения отдельных критериев) траекторий развития экономики. В этом случае динамику управляющих параметров задавать не надо, она находится как область определения оптимального решения. Модель прошла проверку при использовании критерия минимума взвешенной суммы среднеквадратических отклонений модельных темпов роста со-



зданного продукта и производительности труда от этих же величин, заданных извне,

$$Q = \sum_{\theta=1, \dots, N/k} v_{\theta} (Y_{\theta}/Y_{\theta-1} - (Y_{\theta}/Y_{\theta-1})^d)^2 + \omega_{\theta} (ПТ_{\theta}/ПТ_{\theta-1} - (ПТ_{\theta}/ПТ_{\theta-1})^d)^2, \quad (8)$$

где  $Q$  — критерий оптимального решения;  $ПТ$  — общая производительность труда в экономике;  $d$  — символ определения соответствующего показателя извне;  $N$  — конечный момент времени в прогнозе;  $\theta$  — единица измерения в (8), содержит  $k$  лет, всего таких периодов в прогнозе  $N/k$ ;  $v_{\theta}$ ,  $\omega_{\theta}$  — весовые множители:  $0 \leq v_{\theta} \leq 1$ ,  $0 \leq \omega_{\theta} \leq 1$ ,  $v_{\theta} + \omega_{\theta} = 1$ , изменяя их соотношение, задаем различные варианты прогноза: варианту, ориентированному в первую очередь на достижение заданных темпов роста производимого продукта, соответствует  $v_{\theta} \gg 2\omega_{\theta}$ ; варианту, ориентированному прежде всего на достижение заданных темпов роста производительности труда, —  $\omega_{\theta} \gg 2v_{\theta}$ ; и наконец, варианту, в котором достижение заданных величин и по одному, и по другому показателю одинаково важно, —  $v_{\theta} \approx \omega_{\theta}$ .

Для определения оптимального решения реализован метод оврагов, позволяющий легко переходить к любым другим частным критериям, выраженным в виде функций от используемых в модели переменных.

Попутно с основными показателями развития экономики вычисляется и ряд производных от них, таких как фондоотдача, производительность труда, фондовооруженность, объемы инвестиций, направляемые отдельно на расширение и на техническую реконструкцию основных фондов, общие коэффициенты выбытия и обновления. Все показатели представлены как в целом, так и в разрезе различных ТЭУ для каждого из секторов экономики. Для анализа стратегий экономического развития прогноз дополнен расчетами оценки влияния на экономический рост интенсивных и экстенсивных факторов, а также определением динамики показателей эластичности по ресурсам.

По модели проводилось множество расчетов с использованием статистики ЦСУ СССР, отчетности ГКНТ СССР и т. д. В научных отчетах ВНИИЭПРАНТ ГКНТ СССР представлены результаты таких расчетов и анализа стратегий развития до 2010 г. (с учетом уровневой дифференциации производства): народного хозяйства и его двух секторов — промышленности и непромышленных отраслей в целом, топливно-энергетического комплекса, лесохимического, машиностроительного и его одиннадцати чистых отраслей. По металлургическому комплексу аналогичные расчеты были выполнены в разрезе основных технологий, используемых при производстве проката — электропечного, конвертерного и мартеновского способов. Эти результаты использованы при подготовке предложений к Концепции социально-экономического развития и КП НТП СССР на 1991—2010 гг.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Айрес Р. Научно-техническое прогнозирование и долгосрочное планирование. М.: Мир, 1971.
2. Metcalfe J. S. Impulse and Diffusion in the Study of Technical Change//Futures. 1981. V. 13. № 5.
3. Blackman A. W. The Market Dynamics of Technological Substitutions//Technological Forecasting and Social Change. 1972. № 1.
4. Sharif M. N., Kabir C. A Generalized Model for Forecasting Technological Substitution//Technological Forecasting and Social Change. 1976. № 3.
5. Fisher J. C., Pry R. H. A Simple Substitution Model of Technological Change//Technological Forecasting and Social Change. 1971. № 3.
6. Gottinger H. W. Econometric Estimation of a Technology Diffusion Model. P. 2//Internat. J. Technol. Manag. 1987. V. 2. № 1.
7. Ray G. F. The Diffusion of Mature Technologies. Cambridge, 1984.
8. Ayres R. U. Complexity, Reliability and Design: Manufacturing Implications (Revised Version). Laxenburg (Austria). IIASA, WP-87-94. 1987.
9. Mahajan V., Wind Y. Innovation Diffusion Models of New Products Acceptance. Cambridge, 1986.
10. Marchetti C., Nakicenovic N. The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model. Laxenburg (Austria). IIASA, RR-79-13. 1979.



11. *Skiadas C.* Innovation Diffusion Models Expressing Assymetry and/or Positively or Negatively Influencing Forces//Technological Forecasting and Social Change. 1986. V. 30. № 4.
12. *Skiadas C.* Two Generalized Rational Models for Forecasting Innovation Diffusion//Technological Forecasting and Social Change. 1985. № 1.
13. *Oliver F. R.* Tractors in Japan: A Future Logistic Analysis//J. Operational Research Society. 1981. № 4.
14. *Easingawood C. J., Mahajan V., Muller E.* A Nonsymmetric Responding Logistic Model for Technological Substitution//Technological Forecasting and Social Change. 1983. № 2.
15. *Lee J. C., Lu K. W.* On a Family of Data-Based Transformed Models Useful in Forecasting Technological Substitution//Technological Forecasting and Social Change. 1987. № 1.
16. *Ayres R. U.* The Industry-Technology Life Cycle: An Integrated Meta-Model? Laxenburg (Austria). IIASA. RR-87-3. 1987.
17. *Tchijov I.* The Cyclical Dynamics of Diffusion Rates. Laxenburg (Austria). WP-87-14, 1987.
18. *Сахал Д.* Технический прогресс: концепции, модели, оценки. М.: Финансы и статистика, 1985.
19. *Mansfield E.* Long Waves and Technological Innovation//American Econ. Rev. 1983. V. 73. № 2.
20. *Rosenberg N., Frischtak C. R.* Technological Innovation and Long Waves//Cambridge. J. Econ. 1984. № 1.
21. *Макаров В. Л.* О показателях научно-технического прогресса//Экономика и мат. методы. 1985. Т. XXI. Вып. 2.
22. *Solow R.* Technical Change and Aggregate Production Function//Rev. Econ. and Stat. 1957. № 3.
23. *Freeman C., Clark J., Soete L.* Unemployment and Technical Innovation: A Study of Long Waves and Economic Development. L., 1982.
24. *Kleinknecht A.* Innovation Patterns in Crisis and Prosperity: Schumpeter's Long Cycle Reconsidered. L., 1986.
25. *Ayres R. U.* Complexity, Reliability and Design: The Coming Monolithic Revolution in Manufacturing. Laxenburg (Austria). IIASA, WP-86-48. 1986.
26. *Tchijov I.* CIM Application: Some Socio-Economic Aspects (Labor, Training and Institutional Factors). Laxenburg (Austria). IIASA. WP-88-30. 1988.
27. *Яковец Ю. В.* Цикличность научно-технического прогресса//Обществ. науки. 1985. № 1.
28. *Яковец Ю. В.* Ускорение научно-технического прогресса: теория и механизм. М.: Экономика, 1988.
29. *Никитин С. М.* Теория «длинных волн» и научно-технический прогресс//Мировая экономика и междунар. отношения. 1986. № 8.
30. *Львов Д. С., Глазьев С. Ю.* Теоретические и прикладные аспекты управления научно-техническим прогрессом//Экономика и мат. методы. 1987. Т. XXIII. Вып. 5.
31. *Кондратьев Н. Д., Опарин Д. И.* Большие циклы конъюнктуры//Доклады и их обсуждение в Институте экономики. Москва. Рос. ассоц. научн.-исслед. ин-тов общ. наук. Институт экономики, 1928.
32. *Шумпетер Й.* Теория экономического развития. М.: Прогресс, 1982.
33. *Аукуционек С. П.* О теориях неравномерности технического прогресса//Экономика и мат. методы. 1986. Т. XXII. Вып. 5.
34. *Переписка В. И. Вернадского и П. А. Флоренского.* Публикация, вступительная статья и примечания П. В. Флоренского//Новый мир. 1989. № 2.
35. *Макаров В. Л.* О перспективных направлениях исследований ЦЭМИ АН СССР//Экономика и мат. методы. 1987. Т. XXIII. Вып. 5.

Поступила в редакцию  
23 VI 1989