

## ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ОТРАСЛИ ПО УРОВНЯМ ЭФФЕКТИВНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ)

Гельман Л.М., Левин М.И., Полтерович В.М., Спивак В.А.

(Москва)

Изучается эволюция кривой распределения предприятий черной металлургии по уровням рентабельности. Предлагаемая модель учитывает взаимодействие процессов создания и заимствования технологий и амортизации фондов; она позволяет хорошо аппроксимировать реальные данные.

#### 1. ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ. ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В [1–5] разработан новый подход к моделированию технологического развития отраслей. Ниже приводятся результаты компьютерного анализа поведения одной из моделей, предложенной в [1], и ее верификации на данных черной металлургии.

В основе подхода лежат несколько хорошо известных фактов и идей. Прежде всего, речь идет о принадлежащей Й. Шумпетеру идее представления механизма инновационных изменений как сочетания двух эндогенных процессов развития предприятий: 1) инновационного — создания новых технологий и 2) имитационного — их заимствования.

Во многих работах имитация рассматривается как главный элемент механизма диффузии, т.е. распространения инноваций от фирм-новаторов к остальным. Плодотворна гипотеза о том, что скорость диффузии пропорциональна доле фирм, которые еще не освоили новую технологию, причем коэффициент пропорциональности увеличивается с ростом доли фирм, уже внедривших ее. Эта гипотеза подтвердилась во многих эмпирических исследованиях.

Наблюдения показывают также, что в зрелых отраслях эффективность разных предприятий неодинакова, причем характер соответствующих распределений мало меняется со временем. Эти факты находят объяснения в предложенной теории [1–5]. Она описывает эволюцию кривой распределения предприятий по уровням эффективности посредством бесконечной системы дифференциально-разностных уравнений. Ее простейший вариант [1] основан на предположении, что каждая фирма последовательно осуществляет переход на следующий, более высокий уровень эффективности, причем скорость перехода складывается из двух элементов: инновационная составляющая постоянна, а имитационная пропорциональна доле более эффективных фирм. Эта система уравнений обладает замечательными свойствами: с течением времени любое ее решение независимо от начальных условий приобретает форму логистического распределения вероятностей, движущегося с постоянной скоростью в сторону увеличения эффективности. Кроме того, доля фирм, освоивших технологию данного уровня, растет во времени по логистической кривой [1]. Такой эффект согласуется с эмпирическими наблюдениями и аналогичен волновому поведению, характерному для ряда биологических и физических систем. Описанный результат обобщен в нескольких направлениях [2–5]. Хотя в этих случаях строгое математическое исследование уже не дает предельной формы распределения ("волны") в явном виде, общий характер асимптотического поведения системы сохраняется.

Модификация модели с "амортизацией", которая рассматривается в данной работе, учитывает процессы, снижающие эффективность за счет износа фондов или иных причин. Она была предложена еще в [1]. Аналитические исследования по этой модели пока не известны. Приведенные ниже результаты вычислительных экспериментов представляют интерес, прежде всего, как подтверждение работоспособности и реалистичности модели, причем не только при анализе асимптотической структуры отрасли, но и при моделировании кратко- и среднесрочной динамики. Важен также конкретный анализ процессов развития черной металлургии с 1976 по 1988 г. Эти результаты наряду с [1-5] демонстрируют плодотворность нового подхода к моделированию отраслевой динамики.

## 2. МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Предварительный анализ данных по черной металлургии показал, что в реальности смещение распределения за год может происходить в сторону не только увеличения эффективности, но и ее снижения. Это побудило использовать модифицированную форму модели с "амортизацией".

Структура отрасли в рассматриваемой модели в каждый момент времени  $t$  характеризуется последовательностью  $\mathcal{F}(t) = \{ F_n(t) \}$ , которая является функцией распределения предприятий отрасли на дискретном (бесконечном) множестве возможных технологических состояний, упорядоченных по эффективности. Состояния пронумерованы числами  $n$  из множества всех целых чисел  $Z$  или из  $N = \{ n \in Z \mid n > 0 \}$ ; большим номерам соответствует большая эффективность.  $F_n(t)$  — доля предприятий, находящихся в момент  $t$  на уровне эффективности, меньшем либо равном  $n$ , при этом доля предприятий уровня  $n$  равна  $y_n = F_n - F_{n-1}$ . Модель предназначена для описания эволюционных изменений в распределении предприятий по эффективности. Она задается бесконечной нелинейной системой дифференциально-разностных уравнений относительно переменных  $F_n$ . В простейшем случае, который и будет далее рассматриваться, система имеет вид [1]

$$\frac{dF_n}{dt} = -\Phi(F_n)(F_n - F_{n-1}) + \mu(F_{n+1} - F_n), \quad (1)$$

$$\Phi(F) = \alpha + \beta(1 - F), \quad \alpha > 0, \beta > 0, F \in [0, 1], \mu \geq 0, n \in Z. \quad (2)$$

Это означает, что каждое предприятие уровня  $n$ , доля которых составляет  $y_n = F_n - F_{n-1}$ , поднимается на более высокий уровень  $n+1$  с интенсивностью (скоростью)  $\alpha$  за счет процесса инновации и с интенсивностью  $\beta(1 - F_n)$  в результате имитации. Предприятия же уровня  $n+1$  (их доля  $y_{n+1} = F_{n+1} - F_n$ ) опускаются на уровень  $n$  с интенсивностью амортизации  $\mu$ . При этом коэффициенты  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\mu$ , характеризующие эти процессы, считаются постоянными и одинаковыми для всех предприятий.

Для (1), (2) без амортизации ( $\mu = 0$ ) при естественном граничном условии

$$F_n(t) = 0, \quad n \leq 0, t \geq 0 \quad (3)$$

найден явное решение [1]. Как уже отмечалось, в этом случае с течением времени динамика принимает характер смещения (с постоянной скоростью) распределения установившейся формы ("волны") в сторону возрастания эффективности. При этом форма волны и скорость не зависят от начального распределения, а определяются только показателями эндогенных процессов  $\alpha$  и  $\beta$ .

Модель с ненулевой амортизацией ( $\mu > 0$ ) исследовалась лишь с помощью вычислительных экспериментов, в которых использовался следующий разностный аналог системы (1), (2)

$$F_n(t+1) = F_n(t) + h_t \{ [\alpha + \beta - \beta F_n(t)] [F_{n-1}(t) - F_n(t)] + \mu [F_{n+1}(t) - F_n(t)] \}, \quad (4)$$

$$h_t > 0, \alpha \geq 0, \beta \geq 0, \mu \geq 0, n \in Z. \quad (5)$$

За счет выбора достаточно малого шага  $h_t$  можно обеспечить выполнение условий

$$1 \geq h_t(\alpha + \beta + \mu) \geq 0, \quad (6)$$

которые, что нетрудно проверить, гарантируют корректность модели как отображения множества функций распределения в себя. Иными словами, последовательность  $\mathcal{F}(t+1) = \{F_n(t+1)\}$ , возникающая в результате преобразования функции распределения  $\mathcal{F}(t) = \{F_n(t)\}$  с помощью (4), также является функцией распределения на  $Z$ .

Если предположить, что существует минимальный уровень эффективности действующих предприятий (принятый в качестве первого), ниже которого они не могут опуститься, то следует считать, что при  $n \leq 0$  для начального распределения  $F_n(0) = 0$ , а в (4) для  $n \leq 0$  коэффициент  $\mu = 0$ . Здесь автоматически выполняется условие (3), т.е. можно ограничиться рассмотрением системы на множестве  $N$ . Во всех экспериментах было принято это предположение, и расчеты значений функций распределения производились лишь для  $n > 0$ .

Вычислительные эксперименты показывают, что в (4) при ненулевом коэффициенте амортизации ( $\mu > 0$ ) асимптотическое поведение зависит от величины  $\mu$  и отличается от случая  $\mu = 0$  главным образом скоростью движения волны, которая с ростом  $\mu$  уменьшается и может стать даже отрицательной. При достаточно малых  $\mu$  по-прежнему наблюдается движение установившегося распределения в сторону возрастания эффективности с постоянной, хотя и замедленной, скоростью. При некотором  $\mu$  можно видеть почти неподвижную волну. Дальнейший рост  $\mu$  приводит к обратному движению волны — к снижению эффективности. Достигая минимального уровня, волна деформируется и в конечном счете вырождается в распределение, при котором все предприятия обладают предельно низкой эффективностью. Аналитические исследования асимптотических свойств модели с амортизацией еще продолжаются. В рамках же данной работы основной интерес представляют эксперименты, направленные на проверку соответствия модели реальной текущей динамике с целью оценки теоретической значимости принципов моделирования, на которых она основана.

### 3. СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ДИНАМИКИ С РЕАЛЬНОЙ

Для сопоставления изучаемой модели с реальной статистикой использованы данные по черной металлургии за 1976–1988 гг. Выбор отрасли, который был сделан для этой цели, определился тем, что оказалось возможным получить для нее достаточно полную и однородную информацию по рентабельности\* предприятий за такой период времени, на котором в какой-то мере можно было уже надеяться на значимость, показательность экспериментов. Кроме того, она в большей степени, чем другие отрасли, соответствует предположениям, заложенным в основу построения модели. И, наконец, на выбор повлияла особая практическая важность анализа конкретной динамики процессов, связанных с изменениями эффективности в этой фундаментальной отрасли.

Группа из 35 предприятий, для которых удалось получить однородную информацию за период 1976–1988 гг., довольно стабильно производит существенную часть (90–95%) всего объема продукции черной металлургии. Эту группу можно считать также достаточно представительной для отрасли, так как входящие в нее предприятия весьма разнообразны как по мощности, видам выпускаемой продукции, технологии, возрасту и степени развития, так и по их месту в народном хозяйстве.

---

\*В условиях хозяйственного механизма, действовавшего долгое время при неизменных неравномерных ценах, трудно найти показатель, который выполнял бы роль стимула повышения эффективности в достаточной степени. Однако выбор рентабельности в качестве такого показателя, по-видимому, чем какого-либо другого соответствует нашей цели. Роль рентабельности как показателя эффективности усилилась после 1982 г. с введением нового преysкуранта цен в черной металлургии, в определенной степени нормализовавшего их. Это подтверждают и результаты обсуждаемых экспериментов. В расчетах использовались данные ЦНИИЧермета им. И.П. Бардина и ЦНИИИнформации и технико-экономических исследований черной металлургии. В соответствующих источниках рентабельность рассчитывалась по правилам, действовавшим в отрасли.

Для определения уровня эффективности предприятий строилась равномерная шкала рентабельности, кратная выбранному заранее диапазону  $\Delta r > 0$ , при котором предприятие с рентабельностью  $r$  относилось к уровню  $n$ , если оно попадало в интервал  $n\Delta r \geq r > (n-1)\Delta r$ . На основе имеющихся данных о рентабельности этих 35 предприятий за период  $L = \{t \mid t = 1976 \div 1988\}$  лет для каждого года строились гистограммы и эмпирические функции их распределения по уровням эффективности  $\mathcal{F}(t) = \{\hat{F}_n(t)\}$ ,  $t \in L$ , графики и вычислялись смещения средних уровней эффективности, характеризующие динамику полученных кривых.

В экспериментах при расчетах возможной динамики распределения предприятий шаг итерации принимался постоянным и равным  $h_t = t = 1$ , что соответствовало изменениям, происходившим в отрасли за один год. При определенных значениях параметров  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  и начальном распределении  $\mathcal{F}(t_0)$ , совпадающим с эмпирической функцией  $\hat{\mathcal{F}}(t_0)$  некоторого года  $t_0 \in L$ , на основе рекуррентных соотношений (4) вычислялись модельные функции распределения  $\mathcal{F}(t) = \{F_n(t)\}$  и характеристики их динамики для всех дальнейших лет  $t \in L$ ,  $t > t_0$ . Последовательность графиков эмпирических и модельных функций, построенных для каждого года изучаемого периода совместно на общей координатной плоскости, а также значения мер отклонения функций  $\mathcal{F}(t)$  от  $\hat{\mathcal{F}}(t)$  использовались для сопоставления расчетной и реальной динамики распределения. В качестве меры отклонения функции распределения для текущего года  $t$  рассматривалась величина (полная вариация)

$$v(t) = \sum_n |F_n(t) - \hat{F}_n(t)|. \quad (7)$$

Для сравнения последовательности реальных и расчетных распределений бралась накопленная сумма отклонений

$$V(t) = \sum_{\tau=t_0}^t v(\tau). \quad (8)$$

Текущая скорость движения распределения  $c(t)$  определялась как смещение среднего уровня эффективности  $\bar{n}$  за год

$$c(t) = \bar{n}(t) - \bar{n}(t-1), \quad \bar{n}(t) = \sum_n n(F_n(t) - F_{n-1}(t)). \quad (9)$$

Выбор параметров  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  экспериментальной модели производился в процессе минимизации показателя  $V(T) = V(t_1)$  отклонения расчетной динамики распределения от эмпирической за период  $T = [t_0, t_1]$ . Для этого использовался достаточно простой и общий метод минимизации функции нескольких переменных, известный как метод координатного спуска [6, с. 99]. Он не гарантирует нахождения глобального минимума в общем случае. Но в данной работе ставился пока вопрос лишь о принципиальной возможности достаточно хорошей аппроксимации реальной динамики теоретической за счет подбора параметров модели  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$ . Поэтому выбранный простой метод поиска параметров оказался приемлемым для поставленной нами цели. Его процедура при слишком длительном счете может быть остановлена, если показатель отклонения достаточно мал, либо для последующего возобновления поиска параметров, начиная с достигнутого уровня приближения, либо для изменения условий минимизации.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Анализ реальной динамики распределения предприятий в черной металлургии показал, что изменения в структуре отрасли до 1982 г. и после качественно различаются (табл. 1–3, где  $N$  – одновременно число реальных уровней эффективности от первого до последнего и сам максимальный уровень). Первый период  $T_1$  характеризуется ежегодным смещением распределения предприятий по рентабельности в сторону ее снижения. При этом падает как средняя по предприятиям рентабельность, так и наивысший по отрасли ее уровень. И это происходит на фоне постоянного у всех предприятий (за исключением чрезвычайно редких случаев) роста капитальных вложений, основных фондов, выпуска продукции и прочих показателей. Начиная с 1982 г. примерно на том же фоне общего роста всех показателей произошли существенные изменения

Таблица 1

## Характеристики экспериментов

Номер эксперимента	Период минимизации, T	$\alpha$	$\beta$	$\mu$	$V(T)$
I	1976–1987	0	0,2736	0,2462	5,162
II	1976–1982	0	0,1363	0,4281	1,074
III	1983–1988	0	0,1552	0,0094	0,792

Таблица 2

Средние уровни эффективности (СУЭ) в черной металлургии ( $\bar{n}$ ) и отклонения от них расчетных СУЭ в абсолютных единицах ( $\Delta\bar{n}$ ) и в процентах к  $\bar{n}$ 

Год, t	Черная металлургия, $\bar{n}$	Эксперименты					
		I		II		III	
		$\Delta\bar{n}$	%	$\Delta\bar{n}$	%	$\Delta\bar{n}$	%
1976	3,29	0	0	0	0		
1977	3,11	0,09	3,0	-0,10	-3,3		
1978	2,91	0,22	7,6	-0,14	-4,9		
1979	2,49	0,58	23,3	0,07	3,0		
1980	2,31	0,68	29,4	0,06	2,4		
1981	2,11	0,81	38,4	0,09	4,1		
1982	2,17	0,69	31,6	-0,12	-5,5		
1983	2,89	-0,09	-3,2	-0,97	-33,7	0	0
1984	2,89	-0,16	-5,4	-1,09	-37,8	0,06	1,9
1985	2,69	-0,02	-0,7	-1,99	-37,0	0,31	11,6
1986	3,03	-0,42	-14,0	-1,43	-47,2	0,02	0,8
1987	3,00	-0,46	-15,2	-1,49	-49,7	0,11	3,6
1988	3,29	-	-	-1,85	-56,3	-0,12	-3,8

в динамике распределения предприятий по рентабельности. В 1982 г. падение средней рентабельности было остановлено, а наивысшая по отрасли даже выросла. 1983 год дал максимальный за весь последующий период прирост средней рентабельности при незначительном уменьшении ее верхнего уровня. В течение периода  $T_2$  с 1983 по 1988 г. кривая распределения смещается то влево, то вправо, но в среднем рентабельность растет. Эти изменения в ее динамике, видимо, связаны с введением в 1982 г. нового метода формирования цен на продукцию отрасли [7], который в определенной степени исправил давно существовавшую систему цен, уже потерявшую связь с реальной экономической действительностью. Ясно, что рентабельность предприятий, рассчитанная по новым ценам, должна была существенно изменить и функцию распределения предприятий по ней (эта функция стала более пологой). Но гораздо более важными и менее очевидными последствиями изменения системы ценообразования отрасли и большей ее ориентации на показатель рентабельности стали качественные сдвиги в процессах развития отрасли в направлении роста эффективности.

Существенность поворота в развитии отрасли подтверждается проведенным сопоставлением наблюдавшейся динамики и ее модели\*. Эксперименты показывают, что

\*Из многочисленных экспериментов здесь приводятся результаты по трем наиболее характерным. Они представлены в табл. 1–3 и в виде графиков на рис. 1–3.

Таблица 3

## Сравнительные характеристики динамики распределения

Год, t	Данные по черной металлургии		Эксперименты								
			I			II			III		
	N	c(t)	c(t)	v(t)	V(t)	c(t)	v(t)	V(t)	c(t)	v(t)	V(t)
1976	10	-	-	0	0	-	0	0			
1977	9	-0,171	-0,079	0,216	0,216	-0,275	0,216	0,216			
1978	9	-0,200	-0,072	0,217	0,433	-0,239	0,244	0,460			
1979	8	-0,429	-0,070	0,609	1,042	-0,212	0,157	0,617			
1980	7	-0,171	-0,069	0,711	1,753	-0,190	0,155	0,772			
1981	7	-0,200	-0,069	0,814	2,567	-0,169	0,138	0,910			
1982	8	0,057	-0,068	0,919	3,486	-0,151	0,166	1,076			
1983	8	0,714	-0,065	0,217	3,761	-0,135	0,980	2,056	-	0	0
1984	7	0	-0,063	0,335	4,096	-0,120	1,116	3,172	0,0553	0,108	0,108
1985	7	-0,200	-0,063	0,164	4,260	-0,107	1,014	4,186	0,0553	0,311	0,419
1986	8	0,343	-0,063	0,446	4,706	-0,095	1,437	5,623	0,0552	0,101	0,520
1987	8	-0,029	-0,062	0,456	5,162	-0,084	1,492	7,115	0,0551	0,122	0,642
1988	8	0,286	-	-	-	-0,074	1,851	8,966	0,0548	0,150	0,792

добиться хорошего приближения динамики черной металлургии в течение обоих периодов — до 1982 г. и после — за счет выбора параметров модели  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\mu$ , единых для них, не удастся. В то же время для каждого периода это возможно (см. табл. 1—3 и рис. 1). Параметры  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  характеризуют интенсивности эндогенных процессов развития предприятий отрасли. Необходимость изменения значений параметров, которые обеспечивали хорошую аппроксимацию в первом периоде, для приближения модели к реальной динамике второго как раз и свидетельствует о том, что новое направление эволюции отрасли в сторону роста рентабельности после 1982 г. связано с внутренними переменными в деятельности предприятий.

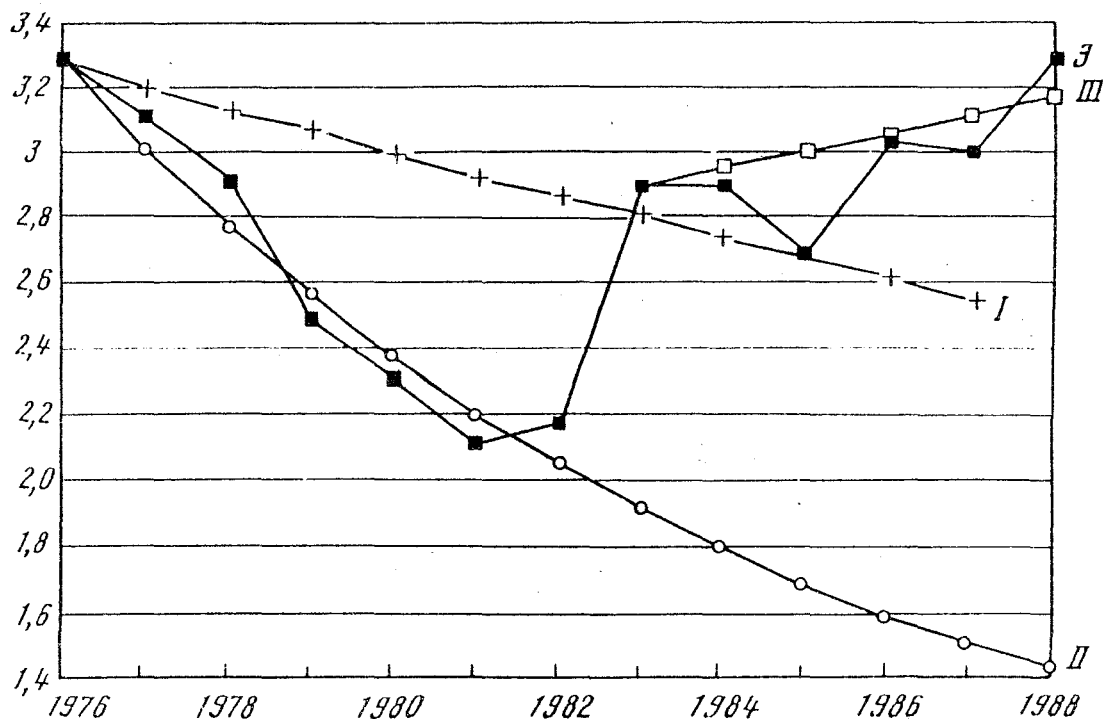


Рис. 1. Средние уровни эффективности  $\bar{y}$ : Э — эмпирические данные, I — эксперимент I, II — эксперимент II, III — эксперимент III

Развитие черной металлургии в первом периоде устойчиво показывает весьма малую активность обновления производства ( $\alpha \cong 0$ ,  $\beta = 0,1431$ ) и значительную интенсивность процессов "амортизации" ( $\mu = 0,4326$ ), ведущих к снижению эффективности\*. Среди факторов, объясняющих такое течение процессов, можно отметить, по крайней мере, две основные особенности практики централизованного управления деятельностью предприятий, сложившейся в советской экономике и действовавшей в исследуемый период. Первая — это искусственное стимулирование выполнения директивных плановых заданий (по объему производства, освоению капитальных вложений и т.п.), определяемых сверху и ориентированных, как правило, на прирост от достигнутого уровня и не связанных с эффективностью производства, так как даже выявить ее

\*При этих значениях параметров (см. эксперимент II в табл. 1) расчетная динамика распределения дает довольно близкую аппроксимацию реальной динамики с 1976 по 1982 г., при которой суммарное отклонение  $V(T_1)$  модельных распределений от действительных за весь первый период  $T_1$  имеет примерно то же значение или даже меньшее, чем отклонение  $v(t)$  за любой год  $t$  последующего периода  $T_2$  (см. табл. 3, 2 и рис. 1). На рис. 2 и 3 сопоставлены графики эмпирических (отдельными точками) и расчетных (сплошными линиями) функций  $\mathcal{F}(t)$  и  $Y(t) = \{y_n(t)\}$ , полученных в этом эксперименте. Наглядно видно различие динамики распределений в периоды  $T_1$  и  $T_2$ : близость расчетных и статистических графиков и их смещение влево до 1982 г., расхождение после этого года. Графики некоторых лет не приведены из экономии места, их характер в целом соответствует представленной картине.

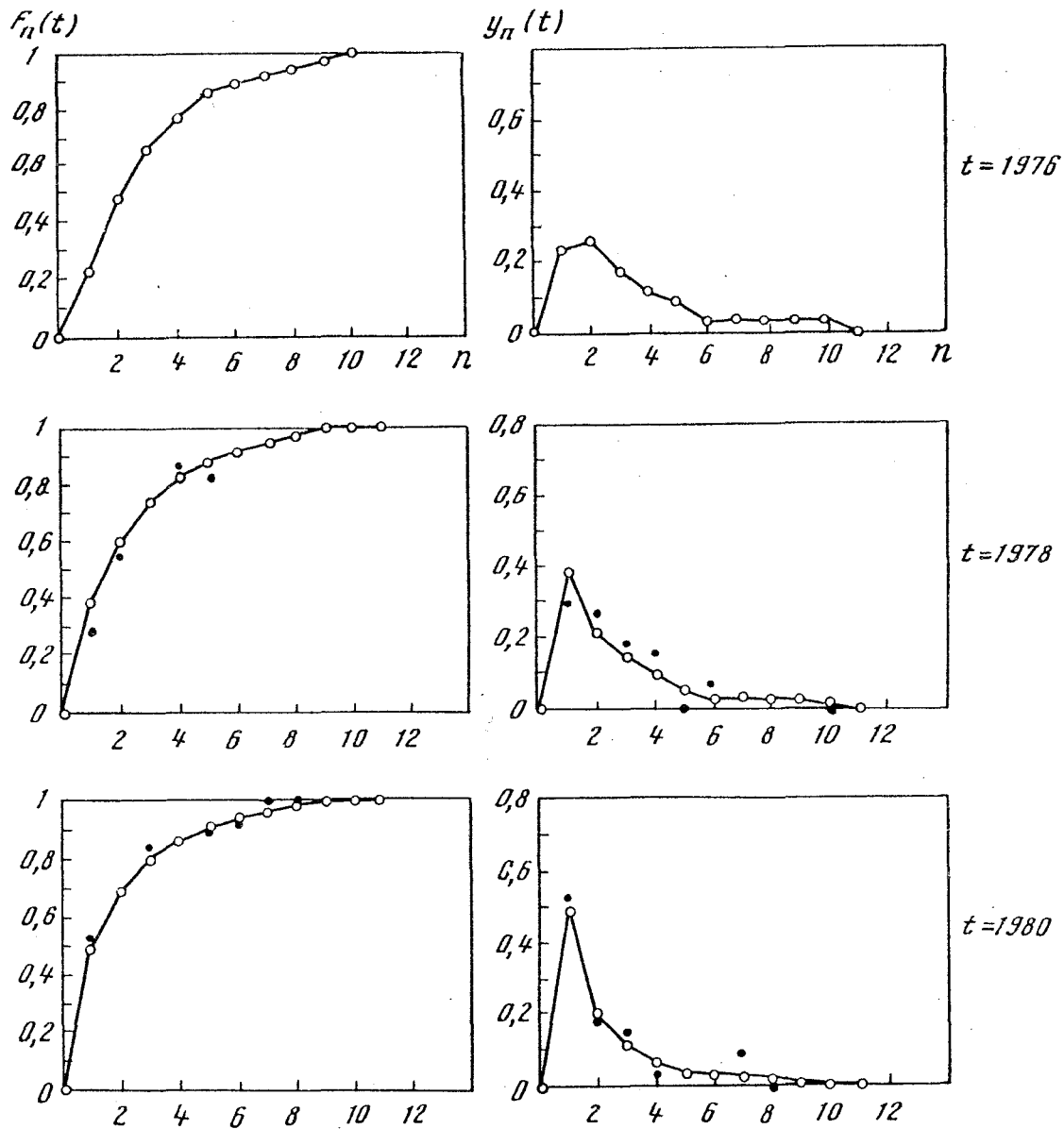


Рис. 2. Динамика распределений. Эксперимент II: на рис. 2 и 3 слева – графики функций распределения  $F_n(t)$ , справа – графики самих распределений ("плотности")  $y_n(t)$ ; сплошными линиями изображены расчетные функции, отдельными точками – эмпирические, которые при некоторых значениях  $n$  неразличимы (для 1976 г. они совпадают)

было практически невозможно при негибкой и уже искаженной за долгие годы системе цен. Это зачастую приводило к необоснованному росту мощностей, выпуска продукции, не пользующейся спросом, и другим явлениям, снижающим эффективность. Вторая не менее важная особенность – система централизованного распоряжения прибылью: изъятие прибыли одних предприятий и дотация других. В такой ситуации положение предприятия зависит не от эффективности его деятельности, а от показателей выполнения плана. При этом процессы, связанные с повышением эффективности или направленные на преодоление ее падения, не только не стимулируются, но тормозятся, поскольку нередко приходят в противоречие с разнообразными жесткими плановыми заданиями, спускаемыми сверху.

При переходе ко второму периоду, начавшемуся после 1982 г., модель по-прежнему демонстрирует отсутствие инновационной составляющей ( $\alpha = 0$ ), однако выявляет тенденцию некоторого роста параметра  $\beta$ , связанного с активностью эндогенных процессов, направленных на повышение рентабельности, и значительного снижения интенсивности процессов, ведущих к ее уменьшению. Иными словами, во втором периоде



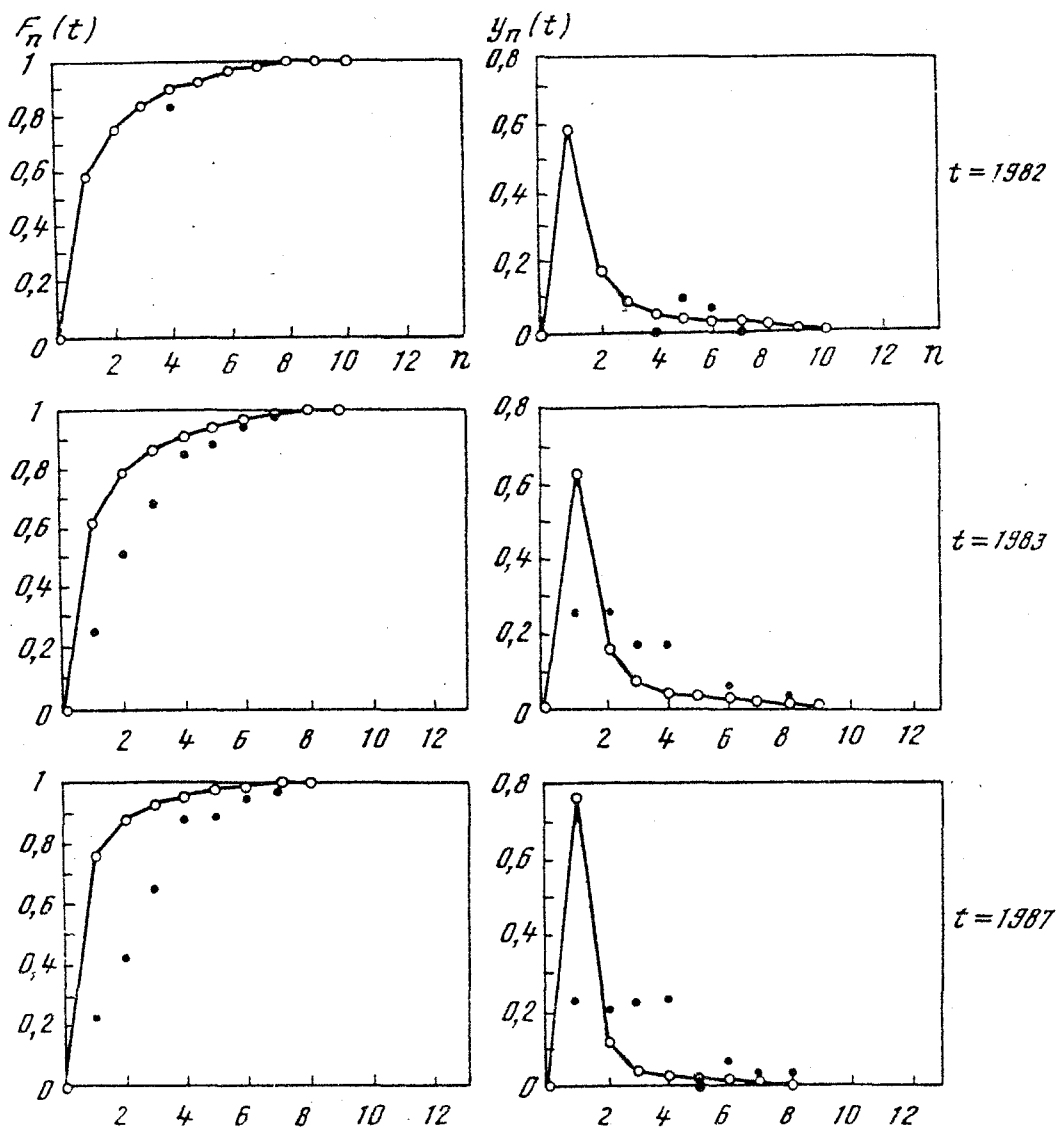


Рис. 3. Динамика распределений. Эксперимент II (продолжение)

усилились процессы, препятствующие деградации отрасли (см. табл. 1). Это согласуется с представлениями о возможной реакции в поведении предприятий на те изменения в ценообразовании и управлении, которые произошли в отрасли в 1982 г.

Реформа ценообразования в черной металлургии в определенной мере "исправила" систему цен на ее продукцию, а рентабельность, рассчитанную на их основе, приблизила к показателю эффективности. Теперь усилия предприятий по выполнению плановых показателей положительно сказывались на рентабельности.

Например, при старых ценах производство низколегированной стали было относительно малорентабельным. Поскольку легированная сталь во многих случаях выгоднее обычной для народного хозяйства в целом, ее выпуск предусматривался плановыми заданиями. В результате реформы соотношение цен между низколегированной и обычной сталью увеличилось [7, с. 87], поэтому наращивание выпуска легированной стали уже не вело к падению рентабельности. Возможно, что определенное влияние оказало также изменение механизма формирования фонда материального поощрения. С 1981 г. плановая прибыль стала фондокорректирующим показателем, а дополнительные отчисления в фонды стимулирования производились в пределах сверхплановой прибыли, предназначенной на эти цели [8]. Усиление роли прибыли, видимо, полекло за собой изменение в динамике рентабельности. Разумеется, эти соображения — лишь правдоподобные гипотезы, для проверки которых потребовались бы специальные исследования на микроуровне.

Подведем итоги. Использованный нами подход отличается от широко применяемых методов прогнозирования отраслевой динамики следующим. Во-первых, он учитывает эндогенную (имитационную) составляющую процесса развития отрасли и его нелинейный характер. Во-вторых, он не сводится к исследованию "точечных" показателей, таких как отраслевой выпуск и затраты, а позволяет описать эволюцию отрасли как совокупности предприятий. В отличие от [1–3], где изучались аналитические свойства подобных моделей, здесь рассматривалось поведение на относительно коротком временном интервале. Для задач кратко- и среднесрочной динамики не удастся применять аналитические методы, и вычислительные эксперименты остаются пока единственным эффективным инструментом исследования. В нашем случае они позволили дать достаточно точное представление эволюции кривой распределения предприятий по рентабельности. Как всегда, при агрегированном описании многие существенные процессы отраслевой динамики остались "за кадром". Все же, на наш взгляд, полученные результаты свидетельствуют о плодотворности теоретических принципов, положенных в основу рассматриваемого подхода, и о целесообразности дальнейших усилий по его разработке.

Авторы пользуются случаем поблагодарить М.М. Вороновицкого за полезные обсуждения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Полтерович В.М., Хенкин Г.М. Эволюционная модель взаимодействия процессов создания и заимствования технологий // Экономика и мат. методы. 1988. Т. XXIV. Вып. 6.
2. Полтерович В.М., Хенкин Г.М. Диффузия технологий и экономический рост. Препринт. М.: ЦЭМИ АН СССР, 1988.
3. Полтерович В.М., Хенкин Г.М. Эволюционная модель экономического роста // Экономика и мат. методы. 1989. Т. XXV. Вып. 3.
4. Henkin G., Polterovich V. Schumpeterian Dynamics as a Nonlinear Wave Theory // J. Mathematical Economics. 1991. V. 20. № 6.
5. Полтерович В.М., Хенкин Г.М. Эволюционное уравнение для распределения технологий при нескольких показателях эффективности // Математические модели экономических механизмов. М.: ЦЭМИ АН СССР, 1988.
6. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ. М.: Наука, 1987.
7. Чепланов В.И. Ценообразование в черной металлургии. М.: Металлургия, 1982.
8. Игнатушкин В.П. Фонды поощрения в одиннадцатой пятилетке // Финансы СССР. 1980. № 12.

Поступила в редакцию  
20 XI 1992