

## АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ НА СВОЙСТВА ЭКОНОМИКИ

Д. Н. Шульц, И. Н. Якупова

*Исходной посылкой анализа стал тезис неоинституционализма и эволюционной теории, что увеличение факторов производства определяет лишь возможности экономического роста (экстенсивный рост), а подлинный рост связан с инновациями, в том числе со структурными изменениями.*

*Мы исследовали вопрос, насколько сильно изменение структуры связей между элементами влияет на производственные возможности системы, а также пытались понять, насколько эффективны агентные модели для анализа неоднородных систем. В качестве метода исследования был выбран инструментарий агентного моделирования.*

*Был проведен ряд вычислительных экспериментов — случайным образом изменялась структура связей между потребителями и производителями и отслеживалось суммарное потребление ресурсов. Если общепринятым подходом является изменение входов системы (потребление ресурсов) и отслеживание выходов (производство товаров), то мы варьировали внутреннюю структуру системы и отслеживали изменение уровня затрат.*

*Первые эксперименты показали, что в предположении совершенной информации рынок становится монопольным и неэффективным.*

*Далее была снята предпосылка о полной информированности агентов (ограниченная информация — одна из предпосылок эволюционной теории). Основным результатом эксперимента заключается в том, что на рынке возникают циклические колебания (при этом прослеживается аналогия с паутинообразными моделями). Кроме того, рынок сегментируется, а некоторые фирмы исчезают (естественный отбор в терминах эволюционной теории).*

*Дальнейшие эксперименты были направлены на исследование того, как ограниченность информации влияет на свойства рынка. Было установлено, что с ростом информированности потребителей сокращается период цикла, но удлиняется время достижения равновесия. Также увеличивается степень монополизации и снижается эффективность рынка.*

*Следующие эксперименты (на основе подхода «learning by doing») продемонстрировали т. н. эффект Матфея: более эффективные производители эволюционировали, повышали свою эффективность и захватывали всю большую и большую долю рынка. Однако в условиях ограниченной информации он проявлялся лишь локально, внутри отдельных сегментов рынка.*

Достаточно распространенной является точка зрения, что экономическая теория переживает крупный кризис своей методологии, в том числе связанный с использованием принципа репрезентативного агента. Так, Д. Коландер ставит под сомнение сами основания метода: «появление концепции репрезентативного агента остается загадкой» [4, с. 17] и называет метод репрезентативного агента «концептуальным редуционизмом», когда «с самого начала блокируется любое понимание взаимодействия между микро- и макроуровнями» [4, с. 18]. Результатом использования метода репрезентативного агента является то, что базирующиеся на нем модели не позволяют объяснить механизмы современных кризисных явлений в экономике

Как отмечают Д. Фаджиоло и А. Ровентини [13, с. 37–38], определенным потенциалом по преодолению ограничений, связанных с методом репрезентативного агента, обладает эволюционное (агентное) моделирование [5, 6]. При его использовании становится возмож-

ным связать между собой микро-, мезо- и макроуровни, фирмы, отрасли и народное хозяйство в целом и устранить «разрыв между методологическим индивидуализмом и холизмом» [1, с. 634].

Таким образом, первым посылом нашей работы является исследование вопроса, насколько агентное моделирование в условиях неоднородности оказывается более мощным инструментом по сравнению с традиционным методом репрезентативного агента.

Кроме того, нас вдохновили некоторые идеи институционалистов и эволюционистов. Например, интересна мысль Д. Норта, что «общепризнанные факторы экономического роста свидетельствуют лишь о возможностях роста» [14, с. 234]<sup>1</sup>. Подлинными источниками развития являются инновации в технологиях, институтах, организации и т. д. Аналогичная

<sup>1</sup> Современные исследования показывают, что динамика труда и капитала объясняет лишь от 4 до 50 % экономического роста в разных странах [16, p. 50].

мысль встречается в эволюционной теории: «изменения агрегированных показателей могут быть вызваны одними лишь силами отбора» [9, с. 29].

Таким образом, в нашей работе ставится задача исследовать, быть может, самоочевидное утверждение, что микроструктура влияет на свойства системы в целом. При этом под структурой мы будем понимать и структуру связей между элементами экономической системы, и институциональную структуру в смысле распределения информации между хозяйствующими субъектами.

Для анализа связей между микро- и макроуровнями мы предлагаем очень простую агентную модель, в которой мы всего лишь изменяли связи между агентами и наблюдали, как это повлияет на свойства системы в целом. На удивление оказалось, что такая элементарная модель может выдавать множество содержательных выводов.

В.Л. Макаров и А.Р. Бахтизин формулируют такие ключевые особенности агентного подхода, как автономия агентов микроуровня друг от друга и от некоего центра, неоднородность агентов, ограниченная рациональность их поведения, не позволяющая полностью познать среду, расположение в пространстве [3, с. 49; 7, с. 10–11].

В каком-то смысле идея нашего исследования родственна бионике [10], суть которой заключается в том, что экономика рассматривается как сеть, соединяющая экономических агентов. В процессе эволюции происходит изменение связей между агентами: возникают новые сделки-связи или сотрудничество агентов прекращается (связи рвутся). Далее мы как раз будем анализировать, как изменение структуры (сети) связей между агентами влияет на систему в целом.

Итак, предположим, что на некотором рынке существуют  $n$  потребителей и  $m$  производителей, выпускающих однородный продукт (в дальнейших расчетах будем использовать  $n = m = 30$ ).

Каждый продавец производит ровно столько продукции, сколько потребляют выбравшие его потребители (запасы отсутствуют), и его производственная функция имеет вид:

$$y_i = L_i^{\alpha_i}, i = 1, \dots, m, \quad (1)$$

где  $y_i$  — объем выпуска продукции,  $L_i$  — объем потребленных трудовых ресурсов, а  $\alpha_i \in (0; 1)$  — эластичность выпуска по труду. Соответственно, спрос на труд со стороны  $i$ -го производителя определяется как:

$$L_i = y_i^{\frac{1}{\alpha_i}}, \quad (2)$$

Поскольку  $\alpha_i$  связывает нелинейно выпуск и затраты ресурсов, то этот показатель выступает неким индикатором эффективности деятельности фирм.

Суммарное потребление труда по отрасли будет равно:

$$AL = \sum_{i=1}^m L_i. \quad (3)$$

Пусть спрос на товары со стороны каждого покупателя одинаков и равен 10. Каждый потребитель выбирает одного-единственного продавца и «отдает» ему весь свой спрос.

В эксперименте 1 производители абсолютно однородны, эластичность выпуска по труду для всех фирм одинакова и равна 0,5 (то есть  $\alpha_i = 0,5$ ). При этом выбор продавца случаен, то есть структура связей «покупатель — продавец» также случайна. Такое предположение позволит проанализировать, как влияет случайная сеть связей между потребителями и производителями на рынок.

При указанных выше предпосылках было проведено 1000 имитаций. Как видно из результатов расчетов (рис. 1), затраты труда сильно различаются в зависимости от структуры связей: от 4200 до 10000 единиц труда для производства одного и того же объема продукции (300 единиц). Таким образом, при самом нерациональном распределении ресурсов затраты труда более чем в 2 раза превышают затраты самого эффективного распределения. Средние ожидаемые затраты труда составляют 5927, медиана — 5800, а мода — 5600.

При этом обращает на себя внимание, что гистограмма распределения суммарных затрат труда (рис. 2) имеет асимметричный характер и значительные правые хвосты.

Теоретически можно показать<sup>1</sup>, что наиболее оптимальный вариант производства будет такой: каждый производитель производит ровно 10 единиц товара, затрачивая при этом 100 единиц труда. В этом случае суммарный объем трудовых затрат составит 3000 единиц. А наиболее затратный способ производства — поручить производство всех 300 единиц товара всего лишь одному производителю. Тогда суммарные затраты труда составят 90 000 единиц.

Немного утрируя, можно интерпретировать полученный результат следующим обра-

<sup>1</sup> Требуется решить (например, методом множителей Лагранжа) задачу условной минимизации:  $\sum y_i^2 \rightarrow \min$  при ограничении  $\sum y_i = 300$ .

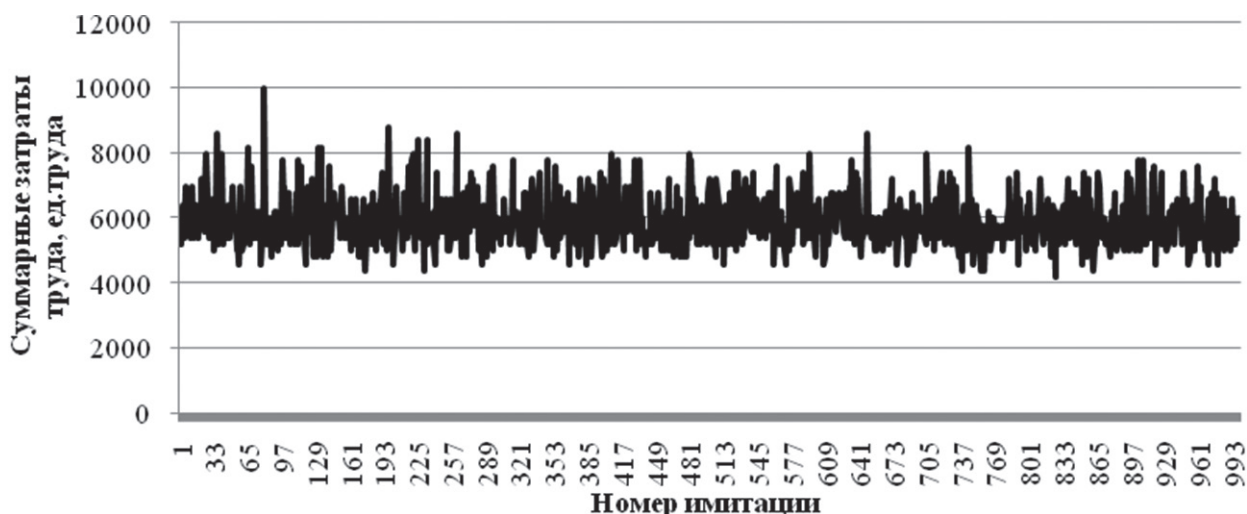


Рис. 1. Суммарные затраты труда в эксперименте 1

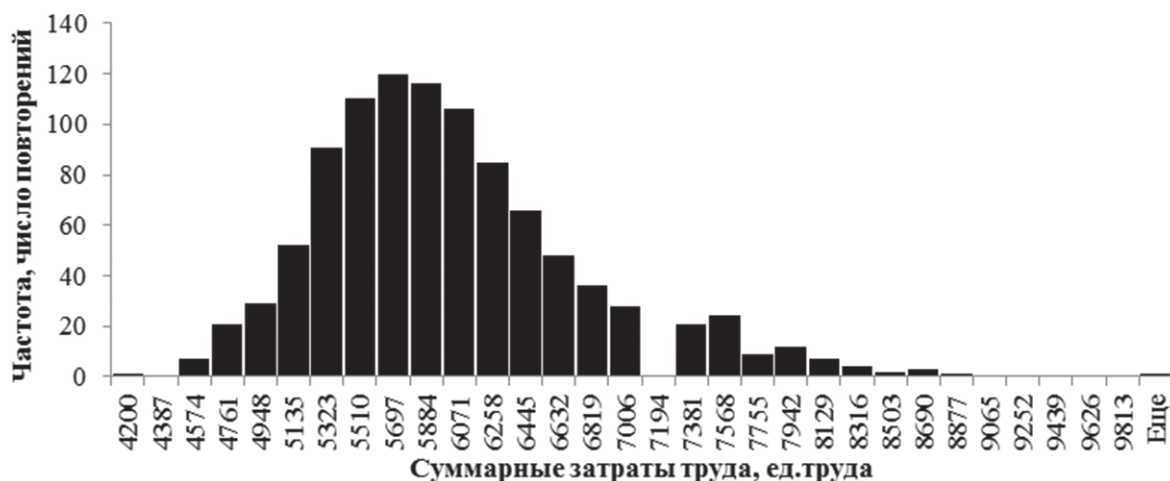


Рис. 2. Распределение суммарных затрат труда в эксперименте 1

зом: «стихийный рынок», то есть случайный поиск продавца потребителями, не позволяет достичь теоретической эффективности даже при 1000 попыток (наилучший достигнутый результат — затраты 4200 единиц труда против теоретических 3000 единиц труда).

В этом смысле первый эксперимент возвращает нас к известной дискуссии Мизеса и Хайека с Лернером, Ланге и Тейлором о возможности имитации рынка в плановой экономике [1, с. 247–249; 11, с. 35–46]. Последние доказывали с помощью модели Вальраса (вальрасовский «аукционист», по сути, выполняет функции Госплана), что командно-административная экономика может достигать эффективности, сопоставимой с совершенным рынком.

В нашей модели, если бы плановый орган распределил задание равномерно по всем производителям, удалось бы сэкономить 1200 единиц труда по сравнению с наилучшим результатом «стихийного рынка» или 2927 — по сравнению с его средними показателями.

С другой стороны, если орган планирования захочет облегчить себе жизнь и просто создаст одну гигантскую монополию и отдаст все плановое задание ей, то суммарные затраты труда окажутся в 9 раз больше, чем наилучший результат, показанный стихийным рынком (90000 единиц труда против 10000). Очевидно, что этот результат зависит от выпуклости производственной функции, которая предполагается в нашей модели.

Для нас это означает, что не только структура связей между агентами, но и институциональная структура (монополия или конкуренция) влияет на эффективность системы в целом.

Снимем предпосылку об абсолютной однородности производителей (эксперимент 2). В этом случае — случае разнородных агентов уже сложнее вычислить теоретически возможные уровни выпуска и трудозатрат. То есть здесь заканчиваются возможности традиционного анализа, зато в полной мере может проявить себя агентный подход.

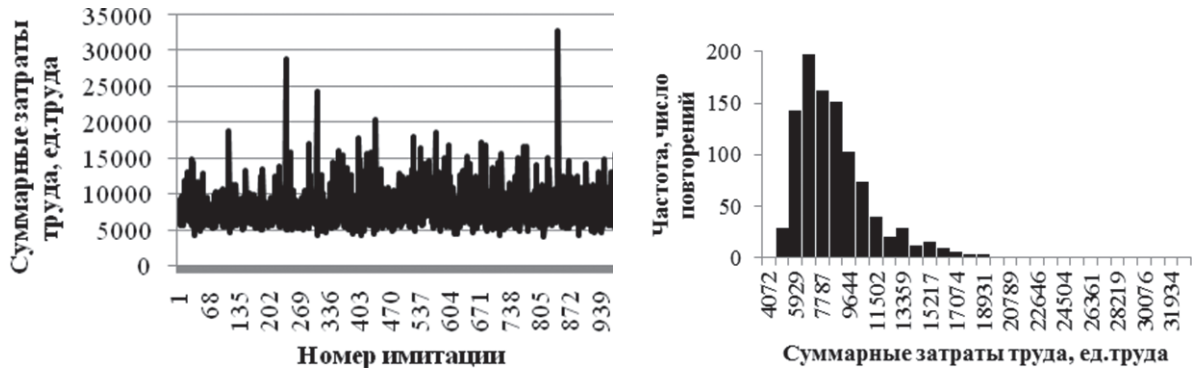


Рис. 3. Распределение суммарных затрат труда при разнородных производителях в эксперименте 2

Предположим, что эластичность по труду  $\alpha_i$  у фирм различна и распределена равномерно в интервале от 0,4 до 0,6 (рис. 4). Как и в предыдущем эксперименте, было проведено 1000 имитаций, при которых потребители так же случайно выбирали производителя.

Как показывают расчеты (рис. 3), увеличился разброс результатов: минимальные затраты – 4071, максимальные – 32 862. Их отношение – 80 (было 30). Коэффициент вариации (отношение среднеквадратического отклонения к среднему) увеличился до 0,34 (в предыдущем эксперименте был 0,13).

Изменились и средние показатели: средние трудозатраты – 8 190, медиана – 7 600. Также, как видно из гистограммы (рис. 3, справа), распределение трудозатрат стало более асимметричным.

В предыдущих двух экспериментах потребители находили продавцов случайным образом. Можно сказать, что структура рынка (структура связей между покупателями и продавцами) задавалась экзогенно. Более корректным является предположение, что потребители при выборе продавца должны руководствоваться ценой, то есть структура связей будет формироваться эндогенно.

Однако возникает сложный вопрос относительно ценообразования. Как известно, правила ценообразования различаются для монополии, олигополии и совершенной конкуренции. Наш рынок характеризуется однотипным товаром и достаточно большим количеством производителей. То есть в ситуации, близкой к конкурентному рынку, микроэкономическая теория предполагает, что после установления цены на рынке каждый из производителей выбирает объем производства, максимизирующий выпуск. Но в нашем случае объем производства жестко определяется спросом.

Поэтому нам пришлось ввести следующий итеративный механизм ценообразования (эксперимент 3). Потребители выбирают про-

давца с минимальной ценой. После того, как каждый производитель сформировал портфель заказов, он устанавливает новую цену, которая будет действовать в следующем периоде (на следующей имитации), исходя из условия равновесия производителя (равенство предельного продукта труда реальной заработной плате):

$$MPL(y) = W/P, \tag{4}$$

где  $MPL$  – предельная производительность труда как убывающая функция выпуска  $y$ ,  $W/P$  – реальная заработная плата.

Для упрощения мы предполагаем, что заработная плата  $W = 1$ . Также на первой имитации мы устанавливаем все цены  $P_i[0] = 1$ , то есть предполагаем, что изначально рынок находится в неравновесии, и анализируем, как он будет (и будет ли) приходить к равновесию.

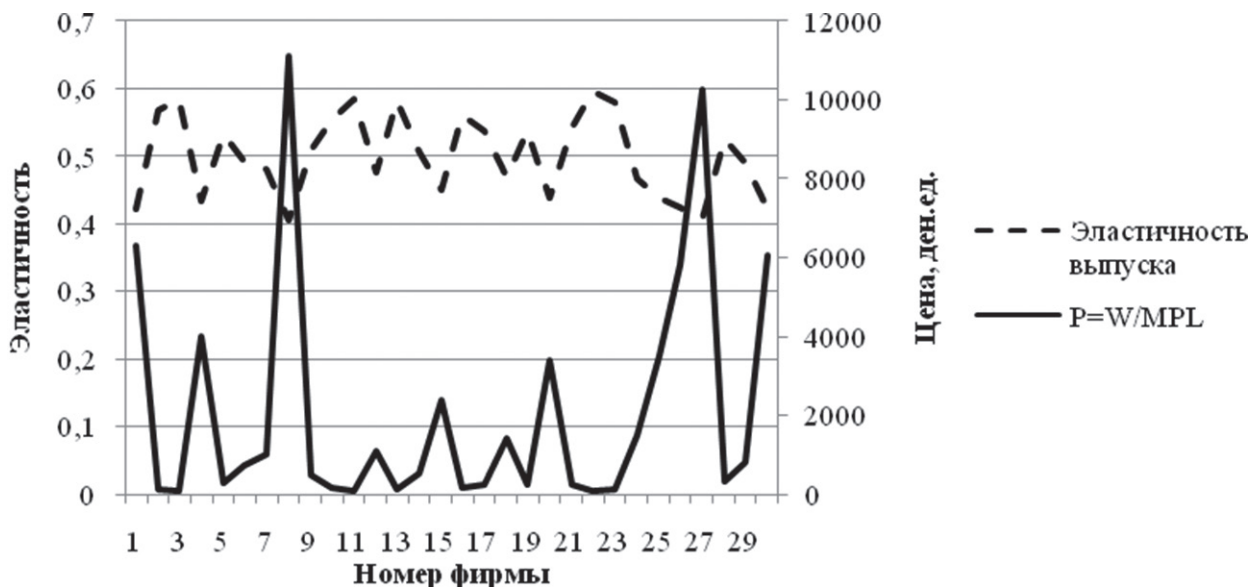
В результате с учетом (2) уравнение для цены примет вид:

$$P_i = \frac{1}{MPL_i} = \frac{L_i}{\alpha_i y_i}. \tag{5}$$

Таким образом, мы видим, что цены и эластичность выпуска по труду связаны отрицательно. То есть чем больше эффективность производства фирмы, тем меньшую цену она может установить.

Расчеты выглядят следующим образом. Так как вначале всем производителям установили одинаковую цену  $P_i = 1$ , то все покупатели выбирают первого попавшегося производителя (№ 1). Спрос на его продукцию составляет 300 единиц, и исходя из этого спроса он устанавливает на следующий период цену 6 300 ( $\alpha_1 = 0,42$ ). При следующей итерации потребители выберут уже 2-го производителя с ценой 1. Второй производитель также скорректирует цену до уровня 133 ( $\alpha_2 = 0,57$ ). И так далее, на каждом шаге потребители выбирают следующего по порядковому номеру производителя, у которого еще стоит цена 1.



Рис. 4. Случайные  $\alpha_i$  и соответствующие им  $P_i$ 

После такого перебора всех производителей мы получаем, по сути своей, монопольные цены, соответствующие объему производства 300 единиц. На диаграмме (рис. 4) показаны случайно сгенерированные эластичности  $\alpha_i$  и соответствующие им цены, установившиеся в текущем эксперименте.

Как и ожидалось, если потребители знают все цены на рынке, то они выбирают производителя, у которого цена минимальна. В нашем случае это оказался производитель № 22, у которого  $\alpha_{22} = 0,596$  и цена 79. После того, как потребители нашли производителя с минимальной ценой, структура связей в экономике не меняется. При этом суммарный объем потребления трудовых ресурсов составит 14217 единиц.

По сути, получается следующая парадоксальная ситуация: «стихийный рынок» выбирает единственного продавца с минимальной ценой, который становится монополистом. Очевидно, что с точки зрения эффективности распределения ресурсов в системе в целом такая ситуация не является оптимальной. Если бы удалось распределить ресурсы более равномерно, то удалось бы снизить совокупные затраты (поскольку используемая производственная функция выпукла и действует закон убывающей предельной производительности). Данный эксперимент демонстрирует, что частная выгода (минимальная цена) может противоречить общественной выгоде (минимальные затраты ресурсов).

Прежде чем перейти к следующему эксперименту, проведем аналогию с моделью Хотеллинга. В этой модели агенты также упорядочены территориально (линейно или по кругу), но в ней предполагается постоянство

предельных издержек. Использование в нашей модели классической производственной функции позволяет учесть убывающую отдачу от масштаба.

Следующим шагом по повышению адекватности модели будет снятие предположения о всеведении покупателей. Иными словами, вводится предположение об ограниченной рациональности, когда покупатели ограничены в информации об экономике в целом или в возможности по передвижению (эксперимент 4).

Допустим, каждый  $i$ -й потребитель может вести поиск только в интервале  $\pm 3$  (ширина окна). Например, покупатель № 5 может выбирать среди производителей с номерами от 2 до 8.

В этом случае, как показывает рисунок 5, экономика проходит две фазы. На первой фазе «поиска» происходит переход от неравновесных цен  $P_i = 1$  к новому равновесию — потребители последовательно перебирают производителей, а производители последовательно «демонстрируют» свою эффективность, выставляя цены при максимальном уровне спроса.

Новое равновесие (вторая фаза) не представляет собой какое-то фиксированное состояние. Можно говорить о динамическом равновесии, при котором экономика принимает попеременно только 6 возможных состояний (рис. 6). Соответственно наблюдаются циклические колебания. То есть если обычно цикл воспринимается как синоним неустойчивости/неравновесия, то в нашем случае циклические колебания являются как раз устойчивыми в том смысле, что они строго периодические.

Если проанализировать микроструктуру цикла (табл. 1), то окажется, что из 30 произво-

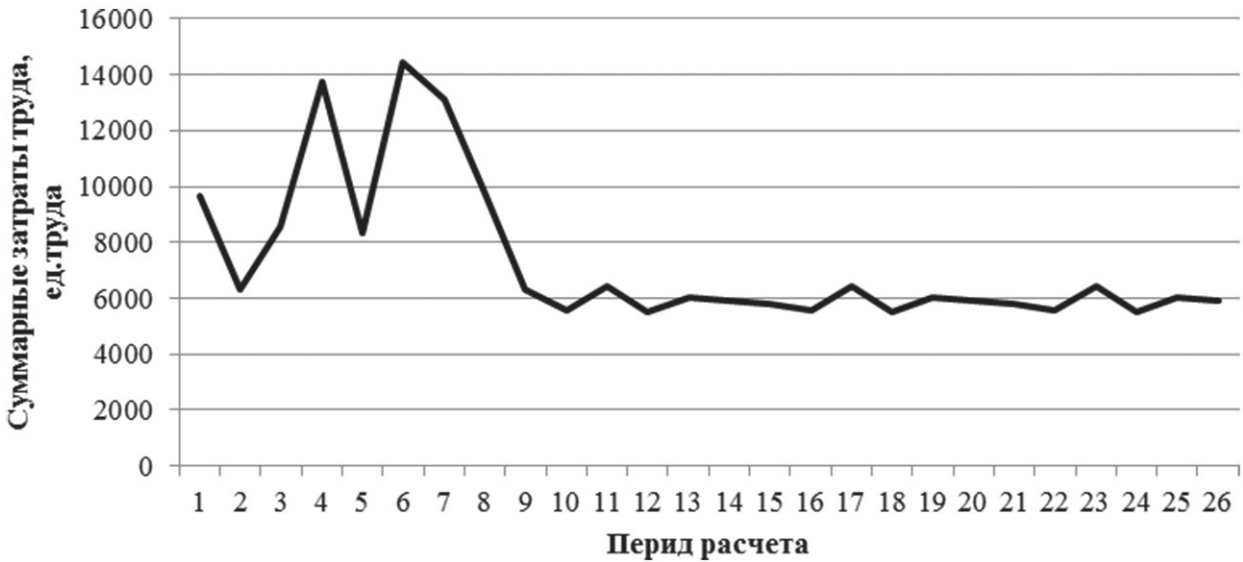


Рис. 5. Переход к равновесному циклу (суммарные затраты труда в динамике)

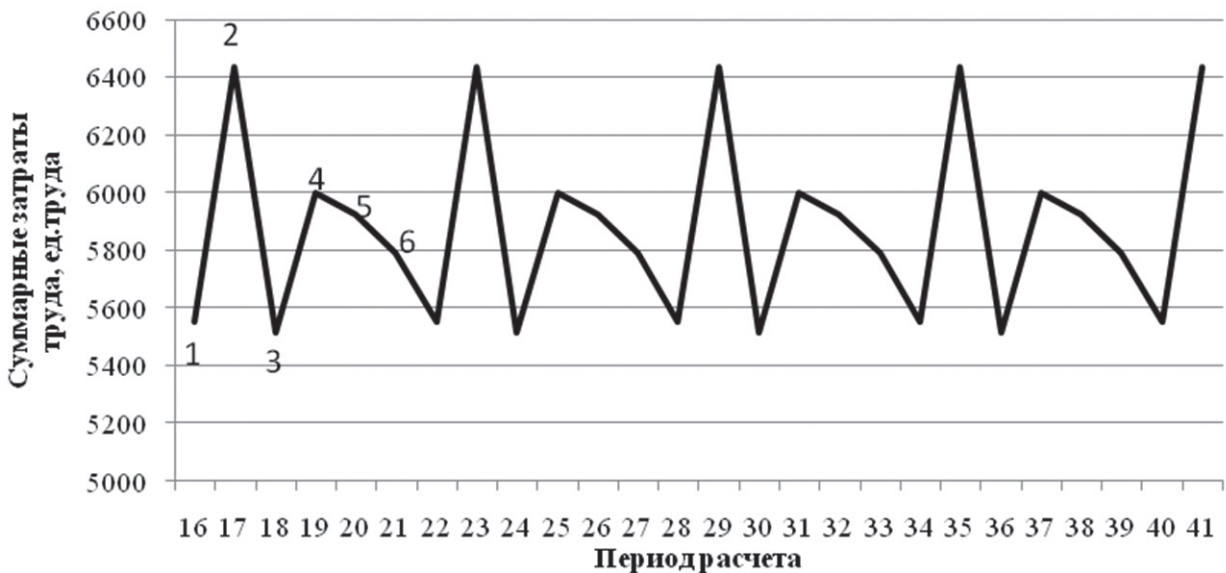


Рис. 6. Цикл в суммарных затратах трудовых ресурсов (занятости)

дителей покупатели выбирают только 8 (производство остальных равно 0), из которых 3 фирмы постоянно что-то производят, а 5 — нет. За счет того, что происходит постоянное чередование объемов производства у этих 5 производителей, возникает экономический цикл.

Постоянное нулевое производство эквивалентно банкротству фирм. Таким образом, часть фирм с рынка уходит, а общий рыночный спрос распределяется между оставшимися фирмами. Очевидно, что гибнут наименее эффективные фирмы. Но эффективность определяется не глобально, а по «сегментам». То есть может возникнуть такая ситуация, что в одном сегменте присутствуют несколько эффективных фирм, из которых в итоге выживет лишь одна, а в другом сегменте присутствуют только низкоэффективные фирмы, но они выживут.

Таблица 1

Объемы производства фирмами на различных стадиях цикла

N	$\alpha_i$	Возможные состояния (стадии цикла)					
		1	2	3	4	5	6
3	0,585298	60					
4	0,433471	10					
11	0,584383	20	70	70	20	70	70
13	0,582274	70	0	20	70	0	20
16	0,560827	20	50	20	30	50	20
22	0,596491	70	0	70	0	60	10
23	0,579884	10	70	10	70	10	70
28	0,525925	40					
Суммарные затраты труда		5551	6433	5516	6000	5923	5790

То есть «невидимая рука рынка» благодаря неполноте информации действует локально. В этом смысле ограниченная информированность потребителей и/или высокие транспортные издержки могут способствовать выживанию слабых фирм.

Каким же образом возникает цикл? Ключевую роль в образовании цикла играет неравномерная эффективность производства, которая приводит к сегментации рынка. То есть ограниченная рациональность, сегментированность и цикличность тесно связаны между собой.

Так, производители 3 и 4 образуют «региональный» сегмент — вместе они покрывают первых 7 потребителей. Причем этот сегмент поделен потребителями (!) таким образом, что 3-му производителю достается 6/7 сегмента, а 4-му — 1/7. 8-й потребитель способен уже «дотянуться» до более эффективного 11-го производителя. Далее следуют производители с номерами от 11 до 23 — это достаточно плотная группа высокоэффективных производителей, конкуренция между которыми и образует циклические колебания.

Наконец, 28-й производитель представляет собой локального монополиста, полностью покрывая четырех крайних потребителей. Этот производитель образует еще один сегмент рынка со своим стабильным спросом в 40 единиц.

Цикл возникает во 2-м сегменте среди конкурирующих производителей за счет чередования выбора потребителей. Рассмотрим «под микроскопом» взаимодействие 11-го и 13-го производителей. Вначале (стадия 1) 11-й производитель получает только 8-го и 9-го потребителя и его цена составляет 14,4. 13-й производитель по цене 36,1 продает продукцию покупателям с 10-го по 16-й. На следующем шаге (стадия 2) «пограничные» покупатели с 10-го по 14-й перебегают к 11-му производителю, цена у которого поднимается до 35. Цена у 13-го снижается до 14,7, и к нему переходят покупатели от 11-го. И так далее.

То есть мы видим три уровня циклов:

1. Уровень фирмы. Например, чередование объемов производства у 23-го производителя: 10, 70, 10, 70 ... При этом у разных фирм наблюдается разная периодичность. Например, у 23-го производителя период равен 2, у 11-го — 3.

2. Уровень сегментов рынка. Здесь также возможны различные периоды цикличности. Например, у 1-го и 3-го сегментов циклов нет вообще, а у 2-го сегмента имеются циклические колебания периода 3.

3. Уровень рынка в целом.

Мы сказали, что важную роль в образовании цикла играет неполнота информации. В нашей агентной модели учтены два вида неопределенности:

- 1) неопределенность покупателей относительно всех цен в экономике;
- 2) неопределенность продавцов относительно спроса на свою продукцию. В результате цены устанавливаются на основе текущего спроса.

Цикличность может быть объяснена следующей цепочкой: рост продаж → снижение  $MPL$  → рост цены на основе выражения (5) → снижение продаж → ... В этом смысле прослеживается аналогия между нашей моделью и паутинообразными моделями рынка. Для того чтобы лучше продемонстрировать эту аналогию, запишем в аналитическом виде процессы формирования цены и спроса.

Спрос потребителей (выбор ими производителя) зависит от цен, установленных фирмами в предыдущий момент времени:

$$d_j[t] = d(P_j[t-1]), \quad (6)$$

где  $d_j$  — спрос  $j$ -го покупателя, определяемого на основе доступной ему информации относительно цен в экономике;  $P_j$  — вектор цен, известных  $j$ -му покупателю.

Цены на будущий период устанавливаются каждым  $i$ -м производителем на основе текущего спроса на свою продукцию  $D_i$ :

$$p_i[t+1] = S(D_i[t]). \quad (7)$$

При этом  $D_i$  представляет собой сумму индивидуальных спросов  $d$  потребителей, выбравших  $i$ -го продавца.

Проанализируем, как влияет степень ограниченности рациональности на свойства системы:

- на скорость перехода к равновесию;
- на периодичность цикла;
- на эффективность производства.

Для этого в эксперименте 5 мы варьировали ширину окна покупателей от 1 до 21 и для каждого провели по 100 имитаций (табл. 2). Неожиданным оказался тот факт, что рост информированности увеличивает время перехода к равновесию.

Как и следовало ожидать, результаты модельных расчетов демонстрируют, что периодичность цикла сокращается по мере роста доступной информации. Вначале сегменты рынка очень локальны (например, конкурируют фирмы 22 и 23; 13, 16 и 17; 10 и 11), внутри них потребители могут выбирать из не-

большого числа производителей и постоянно «мечутся» от одного к другому. Но по мере расширения кругозора выбор становится все более и более эффективным и снижается необходимость его пересмотра. В предельном случае, когда агенты знают все цены в экономике, они могут выбрать одного-единственного продавца с минимальной ценой. В этом состоянии не будет никаких перераспределений спроса и, соответственно, никаких циклических колебаний.

Таким образом, по мере увеличения ширины окна происходит концентрация производства (индекс Херфиндаля — Хиршмана (табл. 2)) и в итоге остается единственный 22-й производитель с максимальной эластичностью  $\alpha_i$  и минимальной ценой. Но такой вариант оказывается неэффективным на уровне системы в целом, что демонстрируют средние (за 100 расчетов) трудозатраты. Таким образом, мы сталкиваемся с еще одним проявлением эмерджентности в экономике: эффективность на микроуровне (то есть на уровне потребителя) противоречит эффективности на уровне экономики в целом.

Итак, мы пришли к выводу, что неполнота информации приводит к возникновению иерархических структур на рынке, к появлению монопольных сегментов и к циклическим колебаниям. В связи с этим следует упомянуть некоторые известные классические исследования, посвященные неполноте информации.

Дж. Стиглер [12] в рамках своей теории информации указывал на то, что субъекты экономики принимают оптимальные решения с учетом издержек на поиск, сбор и обработку информации. Г. Саймон формулировал гипотезу ограниченной рациональности, согласно которой потребители в условиях бесплатной информации вместо глобального поиска выбирают первый удовлетворительный для них вариант [15, с. 165]. Э. Фэлпс [17] и Р. Лукас предлагают островную аналогию: вследствие несовершенного распределения информации экономические агенты не всегда могут различить изменение относительных цен на собственную продукцию и изменение уровня цен в экономике в целом. В результате агенты ведут себя как монополисты/монопсонисты. Дж. Акерлоф [2] и Дж. Стиглиц [19] исследовали асимметрию в распределении информации и показали, что рыночное равновесие отклоняется от равновесия совершенной конкуренции.

Известно, что в рамках неокейнсианской традиции принято объяснять цикличность провалами рынка, такими как негибкие цены

Таблица 2  
Влияние степени рациональности на свойства системы

Окно	Время перехода к равновесию	Периодичность цикла	Индекс НН	Средние трудозатраты
1	10	6	0,061538	4521
2	9	4	0,070038	5432
3	9	6	0,081864	6241
4	10	6	0,092866	7707
5	13	2	0,105458	9036
6	17	2	0,109478	11777
7	14	2	0,114906	12621
8	12	2	0,116829	13719
9	19	1	0,120442	15674
10	21	2	0,133165	18890
11	23	2	0,145088	23824
12	24	2	0,155911	24299
13	20	2	0,166178	26060
14	24	2	0,174736	29229
15	24	2	0,18271	31597
16	26	2	0,189665	36604
17	26	2	0,195703	40013
18	29	2	0,200901	43778
19	29	2	0,205361	47606
20	30	2	0,209307	53478
21	31	1	0,216112	57431
	...	...	...	...

и заработные платы, которые, в свою очередь, объясняются несовершенной конкуренцией, асимметрией информации и т. д. Построенная нами модель находится в русле этой традиции, но для объяснения цикла не требуются предположения о рациональных ожиданиях, жестких ценах и/или заработной плате, долгосрочных контрактах или других эффектах. По всей видимости, предпосылка неоднородности оказывается гораздо мощнее метода репрезентативного агента и позволяет объяснить цикличность в экономике, прибегая к меньшему числу предпосылок. Нам для объяснения цикличности достаточно, кроме неоднородности производителей, по сути, только неполноты информации и выпуклости производственной функции.

В эксперименте 6 попытаемся учесть эффекты *learning by doing* [18, p. 120]. То есть будем предполагать, что фирмы, производящие больше продукции, могут больше нарастить свою эффективность. Этот эффект может проявляться, например, через накопление знаний, вложения в исследования и разработки, через покупку лицензий и патентов и т. д.

Если ранее наша модель могла называться эволюционной лишь в том смысле, что содер-



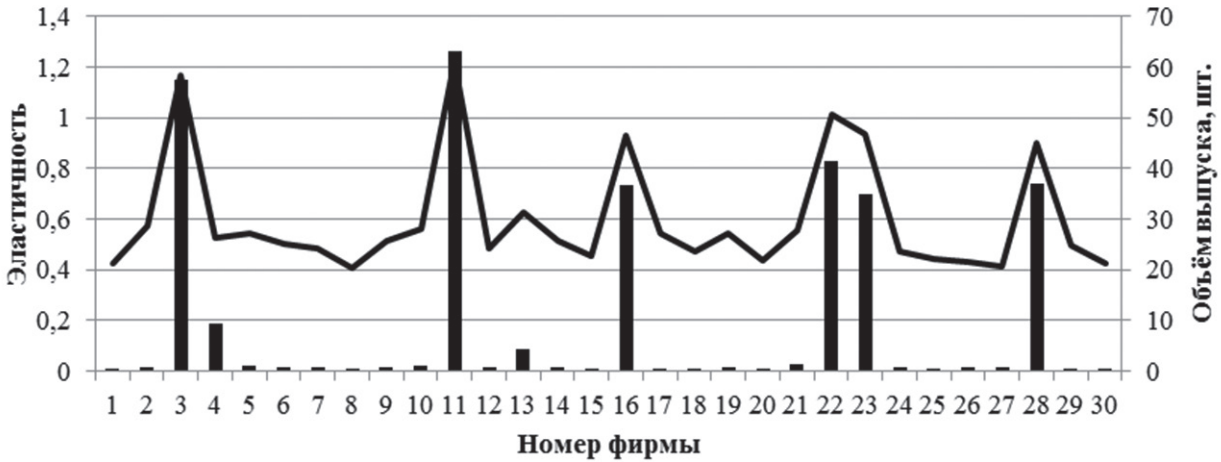


Рис. 7. Средние объемы производства (столбцы, шкала справа) и итоговые значения эластичности (линия, шкала слева)

жит элементы естественного отбора, то в данном эксперименте наши агенты будут подвержены мутациям и рынок в целом будет, в полном смысле этого слова, эволюционным.

Будем предполагать, что изменение эффективности производства прямо пропорционально объемам деятельности:

$$\alpha_i[t] = \alpha_i[t-1] + \frac{1}{\lambda} y_i[t-1], \quad (8)$$

где параметр  $\lambda > 0$  отражает силу и скорость влияния. Параметр  $\lambda$  нам придется задать достаточно большим, чтобы коэффициенты  $\alpha_i$  не вышли из интервала  $[0; 1]$ .

Мы ожидаем, что при этом проявится так называемый эффект Матфея<sup>1</sup>, когда более эффективные производители получают большую долю рынка, а за счет нее смогут еще нарастить эффективность и еще больше увеличить свою долю рынка.

Для сопоставимости с предыдущими расчетами установим ширину окна  $w = 3$ . Тогда при  $\lambda = 10000$  получим следующие результаты (табл. 3).

Можно заметить, что итоговое распределение рынка, как следовало ожидать, коррелирует с показателями эффективности (рис. 7).

Действительно, проявляется эффект Матфея: чем более эффективным был производи-

Таблица 3  
Изменении эффективности производства  $\alpha_i$

Номер производителя	$\alpha_i[0]$	$\alpha_i[100]$	Средние объемы производства	Средняя доля рынка, %
3	0,585298	1,165298	57,42574	19
4	0,433471	0,527471	9,306931	3
11	0,584383	1,221383	63,06931	21
16	0,560827	0,930827	36,63366	12
22	0,596491	1,015491	41,48515	14
23	0,579884	0,932884	34,9505	12
28	0,525925	0,898925	36,93069	12

тель вначале, тем большую долю рынка он получает, тем больше растет его эффективность и снова тем большую долю рынка он получает.

Но необходимо отметить, что при неполной информированности эффект Матфея проявляется не абсолютно, а локально. Для того чтобы понять, почему так происходит, во-первых, обратим внимание на тот факт, что по сравнению с предыдущими результатами в процессе эволюционного отбора исчезает (гибнет, банкротится) производитель № 13. Во-вторых, рассмотрим внимательно рисунок 8.

Например, из графика (рис. 8) видно, что производители № 11 и № 13 расположены достаточно близко и имеют близкие значения эластичностей ( $\alpha_{11}[0] = 0,584$  и  $\alpha_{13}[0] = 0,582$ ). В итоге в своем сегменте выживает более эффективный производитель № 11.

Обращает на себя внимание следующее обстоятельство: на рынке имеются производители № 16 и № 28, эффективность которых изначально меньше, чем у № 13 ( $\alpha_{16}[0] = 0,56$  и  $\alpha_{28}[0] = 0,52$ ), но они выживают и благодаря отдаленности от более эффективных фирм могут нарастить свою производительность и стать

<sup>1</sup> На основе притчи «кто имеет, тому дано будет и приумножится, а кто не имеет, у того отнимется и то, что имеет» в Евангелии от Матфея (13:12) теоретики системной динамики сформулировали так называемый эффект Матфея: «одна фирма получит небольшое преимущество, не так уж важно, за счет чего — большей эффективности, более продуманных инвестиций, лучших технологий или взяток в более крупном размере ... За счет этого преимущества фирма сможет получить больший доход и вложит его в новые технологии, средства производства, рекламу или новые взятки» [8, с. 211].

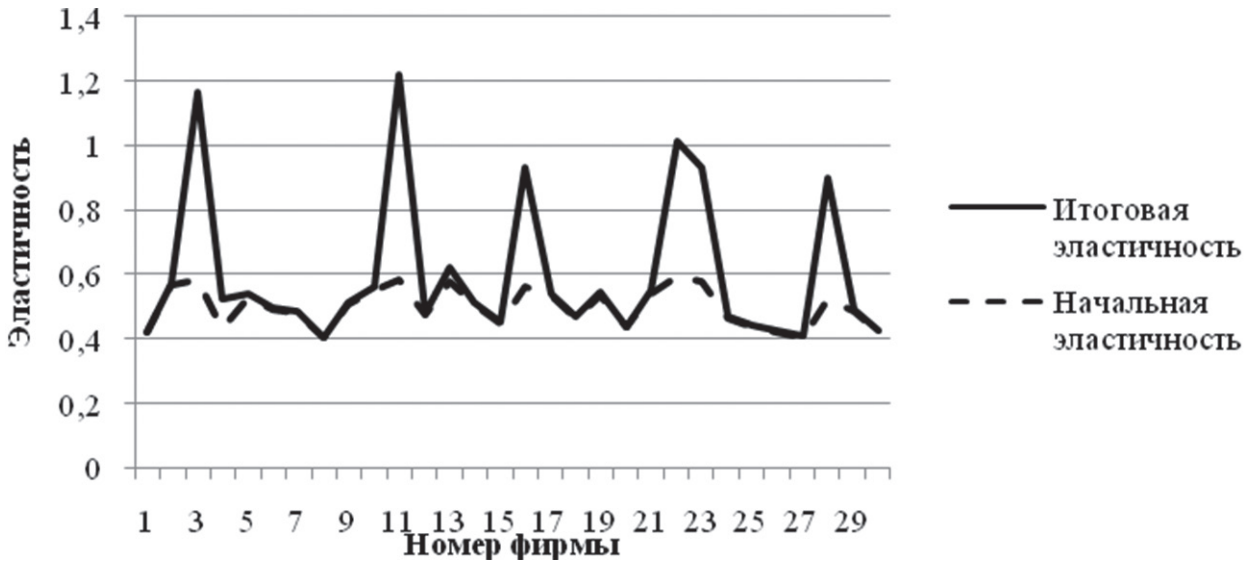


Рис. 8. Начальные и итоговые эластичности



Рис. 9. Агрегированное потребление труда в случае роста эффективности производства

даже более эффективными, чем изначально № 13 ( $\alpha_{16}[100] = 0,93$  и  $\alpha_{28}[100] = 0,89$ ).

Так случайно получилось, что именно этот производитель оказался под номером 13 и судьба его действительно драматична. С точки зрения интуиции, такой исход кажется несправедливым и неэффективным. Если бы удалось производителя № 13 поставить на место, например, производителя № 28, то он бы выжил, нарастил бы эффективность гораздо сильнее, чем последний. Такой гипотетический маневр кажется нам более эффективным с точки зрения общественного благосостояния. Тем не менее, мы видим, что стихийный рынок и локальная конкуренция могут приводить к потере эффективности в глобальном смысле. Можно вспомнить едкую фразу Нельсона и Уинтера по аналогичному поводу: «невидимая рука рынка свернула шею курице, которая несла золотые яйца» [9, с. 439].

Если в предыдущих расчетах рынок был стационарным в том смысле, что спрос и техноло-

гические параметры не менялись, то в текущем эксперименте происходит интенсивное развитие — затраты трудовых ресурсов снижаются (рис. 9). При этом на рисунке четко выделяются 2 участка. При  $t = 1, \dots, 10$  происходит перераспределение спроса между фирмами, сопровождающееся значительными флуктуациями. А затем при  $t > 10$  происходит снижение трудоемкости, что отражается в явном тренде и относительно небольших отклонениях от него.

Опять же по мере расширения доступности информации повышается возможность потребителей выбирать фирмы с минимальными ценами (эксперимент 7). Например, если ширина окна достигнет  $w = 10$ , то остается только 2 производителя с максимальными исходными эластичностями: № 3 ( $\alpha_3[0] = 0,585$ ) и № 22 ( $\alpha_{22}[0] = 0,59$ ), которые в итоге поделят весь рынок с объемами производства 110 и 190 соответственно.

Таким образом, уровень концентрации (индекс Херфиндаля — Хиршмана  $HHI$ ) зависит

от доступности информации ( $w$ ) и скорости изменения технологических коэффициентов ( $\lambda$ ). Чем больше доступность информации, тем вероятнее потребители выберут одного-единственного производителя с минимальной ценой. Чем больше скорость влияния  $\lambda$ , тем быстрее фирмы наращивают производительность труда и захватывают большую долю рынка.

Теперь исследуем вопрос зависимости полученных выше результатов от способа ценообразования. Выше мы пользовались условием максимизации прибыли  $MPL = W/P$ . В эксперименте 8 мы применим более привычное правило «издержки плюс»  $P = ATC(1 + \pi)$ , где  $\pi$  — норма рентабельности, а  $ATC$  — средние общие издержки.

При принятых выше предпосылках

$$P = \frac{TC}{y}(1 + \pi) = \frac{w \times l + TFC}{y}(1 + \pi) = \frac{\alpha}{MPL}(1 + \pi) + AFC(1 + \pi),$$

где  $TC$  — общие издержки,  $TFC$  — общие постоянные издержки, а  $AFC$  — средние постоянные издержки. Иными словами, ценообразование «издержки плюс» представляет собой линейное преобразование уже использованного выше правила  $P = 1 / MPL$ .

Для проведения расчетов мы задали  $TFC$  для всех фирм 10 и уровень рентабельности  $\pi = 15\%$ . Как показали расчеты, изменение способа ценообразования не изменило наших результатов, равновесные объемы производства у всех фирм остались прежними. Аналогично, если повысить рентабельность  $\pi$  с 15 до 50%, то это также не повлияет на распределение спроса и объемы производства фирмами, однако средний уровень цен вырастет на 31% (с 65 до 85 денежных единиц).

Однако содержательный интерес представляет другая ситуация, а именно случай с преобладающими постоянными издержками.

Резко увеличим постоянные издержки до  $TFC = 1000$  (эксперимент 9).

Как показали проведенные расчеты, большой вклад постоянных издержек может вызвать эффект Матфея: фирмы, которые в самом начале получили случайным образом большой объем спроса, смогли снизить цены за счет более низких средних постоянных издержек  $AFC = TFC / y$ . Мы выделили различные сегменты фирм (табл. 4), в рамках которых происходит перераспределение объемов производства. Большинство более эффективных фирм смогли снизить цены и перераспреде-

Таблица 4

Объемы производства при различном уровне постоянных издержек

Номер фирмы	$\alpha_i$	Равновесные объемы производства	
		$TFC = 10$	$TFC = 100$
3	0,585	60	60
4	0,433	10	0
10	0,553	0	10
11	0,584	20	70
13	0,582	70	20
16	0,561	20	20
22	0,596	70	70
23	0,580	10	0
28	0,526	40	0
29	0,489	0	50

лить рынок в свою пользу. Как следствие, выросла концентрация производства (индекс  $HHI$  вырастает 0,13 до 0,18).

Однако так же, как и в предыдущем эксперименте с производителем № 13, в этом эксперименте примечательна судьба производителей № 23 и № 28 — их долю рынка «отхватил» менее эффективный производитель № 29, но благодаря тому, что в какой-то момент он получил больший объем производства, он смог снизить цену, что, в свою очередь, привело к росту продаж и возможности поддерживать цену на низком уровне. То есть эффект Матфея проявил себя в негативном смысле.

За счет большей концентрации производства суммарные затраты труда по рынку возрастают с 6433 до 7243. Как мы уже видели выше, более равномерное распределение производства привело бы к снижению совокупных затрат труда, но в условиях, когда доля переменных издержек невелика, на распределение производства оказывают влияние другие факторы.

Если в предыдущем расчете объем производства фирм не коррелировал с ценой (–0,36), но коррелировал с эффективностью использования труда (0,576), то теперь объем производства сильнее связан с ценой (–0,785), чем с эффективностью (0,53). То есть на рынке цена уже не несет информацию об эффективности производства, и на распределение ресурсов оказывают влияние прочие случайные факторы.

Итак, перед построением модели мы ставили цель оценить влияние микроэкономической структуры на свойства системы в целом. На основе проведенных экспериментов мы можем сделать следующие выводы:

1) структура, организация связей между элементами оказывают значительное влияние на свойства и эффективность системы в целом;

2) неполнота информации и неоднородность являются достаточными условиями для возникновения циклических колебаний и зарождения иерархической структуры экономики;

3) уровень информированности потребителей сокращает периодичность цикла и повышает концентрацию производства, что снижает эффективность экономики в целом;

4) неполнота информации способствует тому, что в процессе эволюции могут выживать не самые эффективные производители;

5) аналогично неэффективные производители могут случайно получить преимущество при условии высокой доли постоянных издержек;

6) агентные модели представляют собой эффективный инструмент для исследования неоднородных экономических систем, для анализа зависимости свойств системы в целом от микроэкономической и институциональной структуры.

При этом, конечно же, построенная модель не покрывает все ситуации, которые необходимо рассмотреть и которые могут продемонстрировать интересные содержательные выводы. Нам видится, что при дальнейшем развитии модели в ней могут быть учтены следующие аспекты: ограничения производителей на производственные мощности, барьеры для входа на рынок новых фирм, поглощение обанкротившихся предприятий, их технологий и специалистов, рационирование кредитов, циклический характер спроса, экономический рост, наличие товаров-конкурентов, маркетинг и реклама, круговое, а не линейное расположение агентов, транспортные издержки, затухающий рост эластичностей выпуска (убывающая отдача от инноваций), различия в склонностях к нововведениям, влияние на экономическое развитие степени монополизации и склонности к инвестированию, влияние на свойства системы различных видов производственных функций и т. д.

#### Список литературы

1. Автономов В. и др. История экономических учений. — М.: ИНФРА-М, 2001. — 784 с.
2. Акерлоф Дж. Рынок «лимонов»: неопределенность качества и рыночный механизм // THESIS. — 1994. — Вып. 5. — С. 91–104.
3. Бахтизин А. Р. Агент-ориентированные модели экономики. — М.: Экономика, 2008. — 279 с.
4. Коландер Д. и др. Финансовый кризис и провалы современной экономической науки // Вопросы экономики. — 2010. — № 6. — С. 10–25.
5. Кюнтцель С. Эволюционное моделирование и критический реализм // Вопросы экономики. — 2009 — № 1. — С. 101–118.
6. Маевский В. Корнаи, Шумпетер и экономическая теория // Вопросы экономики. — 2012. — № 8. — С. 145–152.
7. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р. Социальное моделирование: новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). — М.: Экономика, 2013. — 295 с.
8. Медоуз Д. Азбука системного мышления. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. — 343 с.
9. Нельсон Р., Уинтер С. Эволюционная теория экономических изменений. — М.: Дело, 2002. — 536 с.
10. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала. — М.: Мир, 2000. — 333 с.
11. Сапир Ж. К экономической теории неоднородных систем. — М.: ГУ ВШЭ, 2002. — 248 с.
12. Стиглер Дж. Экономическая теория информации // Вехи экономической мысли. — Т. 2: Теория фирмы. — СПб.: Экономическая школа, 2000. — С. 507–529.
13. Фаджиоло Д., Ровентини А. О научном статусе экономической политики: повесть об альтернативных парадигмах // Вопросы экономики. — 2009. — № 6. — С. 24–47.
14. Худокормов А. Г. Экономическая теория: Новейшие течения Запада: учеб. пособие. — М.: ИНФРА-М, 2013. — 416 с.
15. Худокормов А. Г. и др. История экономических учений: (современный этап). — М.: ИНФРА-М, 1998. — 733 с.
16. Johnes C. I. The facts of economic growth // NBER Working paper [Electronic resource]. URL: <http://www.nber.org/papers/w21142> (дата обращения: 01.09.2015).
17. Phelps E. Microeconomic foundation of employment and inflation theory. — London: Macmillan, 1971.
18. Romer D. Advanced Macroeconomics. Second edition. — Boston: McGraw Hill, 2001. — 631 p.
19. Stiglitz J. E. Information and the Change in the Paradigm in Economics // The American Economist. — 2003. — Vol. 47. — № 2. — P. 6–26.

УДК 330.3; 338.1; 330.42

**Ключевые слова:** структурный анализ, неполнота информации, агентное моделирование