С.Н. Лапшина, канд. техн. наук, доцент,
В.В. Попков, д-р. экон. наук, проф.,
Д.Б. Берг, д-р. физ-мат. наук, проф.,
К.В. Кравцевич, аспирант[1]

МАКРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦИКЛИЧНОСТЬ КАК ПОТОК ЖИЗНЕННЫХ ЦИКЛОВ: ОСНОВЫ ИМИТАЦИОННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Общесистемная модель потока жизненных циклов (ПЖЦ) используется для исследования макроэкономической цикличности на примере конкурирующих за ресурс агентов на рынке. Представлена имитационная математическая модель, реализованная в вычислительной среде клеточных автоматов. Функциональная зависимость макроэкономических параметров не закладывается в модель *a priori* (в отличие от аналитических уравнений макроэкономической динамики), а оказывается результатом множества актов взаимодействия агентов на микроэкономическом уровне.

Ключевые слова: макроэкономическая цикличность, поток жизненных циклов, имитационная математическая модель, среда клеточных автоматов.

Введение

Финансовые, экономические, технологические и другие кризисы являются одной из важнейших реалий современной экономики. Кризисные явления различной природы тесно связаны с цикличностью развития экономических систем и агентов, которым часто приходится пересматривать свою стратегию с целью лучшего соответствия изменяющимся внешним условиям, а также определяющимся и эволюцией (жизненным циклом) самого рынка.

В современных экономических теориях выделяют несколько типов циклов различной продолжительности и природы [1]: промышленные, финансовые, строительные, бизнес-циклы и самые продолжительные – циклы Кондратьева [2]. Циклы различной продолжительности оказываются «вложенными» друг в друга [3] таким образом, что более длинный цикл оказывается суперпозицией совокупности более коротких. С точки зрения теории систем – это есть поток жизненных циклов (ПЖЦ). Модель ПЖЦ применима к исследованию развития любых систем.

[1] *Лапшина Светлана Николаевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры анализа и систем принятия решений ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»; e-mail: lsn@umc.ustu.ru.

Попков Валериан Владимирович – доктор экономических наук, профессор, директор АНО «Международный институт А.Богданова», профессор вышеназванного университета; e-mail: president.ibi@mail.ru.

Берг Дмитрий Борисович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры анализа и систем принятия решений ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»; e-mail: bergd@mail.ru.

Кравцевич Кирилл Вячеславович – аспирант кафедры анализа и систем принятия решений ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»; e-mail: kravtsevich@mail.ru.

В условиях глобализации экономики возрастает необходимость изучения циклов ее развития, предпосылок их возникновения, движущих сил и влияние на экономические системы различных масштабов.

Цель работы: показать возможности расчета макроэкономической цикличности как результата микроэкономического процесса конкуренции агентов за ресурс.

Проблематика

В настоящее время стало общепринятым представление экономики в виде отдельных подсистем, каждая из которых характеризуется своим жизненным циклом: товар $\rightarrow$ технология $\rightarrow$ предприятие $\rightarrow$ отрасль $\rightarrow$ национальное хозяйство $\rightarrow$ мировая экономика. Более короткие жизненные циклы (товары, предприятия), объединяясь, формируют жизненные циклы большей продолжительности (отрасли, национальная экономика и др.). Традиционно их соотносят с короткими, средними и длинными (кондратьевскими) волнами экономической коньюнктуры. Однако объединение «коротких» циклов в «средний», а «средних» в «длинный» не является простым арифметическим суммированием, которое использовано в «равновесной» модели Эрроу-Дебре-Маккензи, где множества выпуска и множества потребления «*аддитивны, т.е. отсутствуют взаимодействия»* между фирмами и между потребителями [4]. Имеет место и обратное влияние – более «длинные» циклы создают граничные условия для более «коротких», что подтверждается, в частности, эмпирическими данными, характеризующими соотношение длинных циклов Кондратьева и Жугляра. При этом циклы Жугляра характеризуют так называемые кондратьевские правильности, когда на повышенной волне длинного цикла более короткие циклы имеют большой подъем и небольшой спад, на пониженной волне – короткий подъем и больший спад. Очевидно, что на фоне обвала в национальной экономике трудно ожидать устойчивого динамичного развития какой-либо подсистемы, характеризующейся более коротким жизненным циклом.

Взаимодействие однотипных экономических систем, чьи ЖЦ образуют ЖЦ более высокого уровня – т.е. более «длинного» – происходит путем конкуренции (конкуренция в потоке), которая ведет к отбору наиболее эффективных. На уровне таких «длинных» циклов тоже имеет место конкуренция, но вследствие большой продолжительности этих ЖЦ и относительного малого количества таких больших однотипных систем конкуренция между ними заметна меньше (на уровне отраслей, национальных хозяйств и др.).

При этом переход всей экономической системы к следующему ЖЦ (следующему циклу внутри потока ЖЦ) – есть переход на другую ресурсную и/или научно-технологическую базу.

В связи с выше изложенным целесообразно введение понятия *потока жизненных циклов* (ПЖЦ) экономической системы [5], соответствующего известным представлениям системотехники [6]. В отличие от хорошо известной концепции ЖЦ и его различных моделей введение понятия ПЖЦ позволяет поставить задачу анализа сочетаемости (взаимодействия, *интеграции*) относительно «коротких» ЖЦ в рамках более «длинного» ЖЦ, а также построения моделей *перехода* от одного «длинного» ЖЦ к другому в рамках ПЖЦ.

Концепция потока жизненных циклов в экономике есть развитие концепции Кондратьева, рассматриваемая как интеграция подходов его собственного и его последователей, объединенных на базе концепции целостного подхода к управлению экономическими системами. До настоящего времени математические модели ПЖЦ в экономике в явном виде не были разработаны.

Рассматриваемая в данной работе модель потока жизненных циклов основана на модели одного жизненного цикла – жизненного цикла конкуренции [7], позволившей численно обосновать смену конкурентных стратегий поведения агентов и параметров их отбора в процессе эволюции рынка.

Математическая модель жизненного цикла

Описание модели

Основой математической модели является представление экономической системы (в т.ч. и отдельного агента) как открытой системы, развитие которой основано на взаимодействии входных и выходных потоков ресурсов: входной поток ресурса f_w (например, валовой доход) распределяется на покрытие переменных f_v и постоянных f_c издержек, и прирост dA/dt собственных активов A экономической системы (рис. 1).

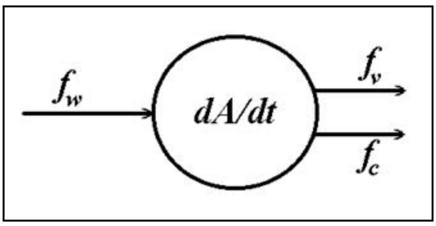

Рис. 1. Взаимодействие экономической системы А с внешней средой: баланс входных и выходных потоков. Данное представление справедливо для экономических систем как микро- так и макроэкономического уровня

Согласно известной модели функционирования агента «выпуск – издержки», агент распределяет входной поток ресурса W (валовой доход) на покрытие переменных (C) и постоянных (V) издержек, а также увеличение собственных активов A. В простейшем случае численное значение C напрямую зависит от абсолютного значения требующих поддержания активов A агента: $C = mA$. Коэффициент пропорциональности m – интегральная оценка эффективности внутренней структуры, отражение «затратности» ее поддержания (арендная плата, налог на имущество и др.). Если никаких внешних источников ресурса нет, то покрытие постоянных издержек идет за счет активов A агента (они снижаются на соответствующую величину, которая поступает на выход агента), т.е.

$$dA/dt = - C = - mA. \quad (1)$$

При наличии внешнего источника ресурса на вход агента поступает поток W этого ресурса – объекта конкуренции (в общем случае это платежеспособный спрос клиентов, который становится доходом агента). Из всего этого потока агентом преобразуется столько, сколько позволяют его производственные возможности, т. е. активы A. Потенциальный объем преобразования P в простейшем случае прямо пропорционален A: $P = pA$. Тогда в случае $W \geq pA$ преобразуемый агентом внешний поток ресурса составит pA и

$$dA/dt = pA – mA. \quad (2)$$

В противном случае, при $W < pA$, агент будет преобразовывать весь поступающий на вход поток ресурсов W:

$$dA/dt = W – mA. \quad (3)$$

Переменные издержки V (зарплата работников, услуги сторонних организаций, налог с оборота и др) в простейшем случае пропорциональны объему преобразуемых ресурсов: при $W \geq pA$ $V = kpA$, при $W < pA$ $V = kW$; где k – соответствующий коэффициент.

Тогда с учетом переменных издержек получим уравнения роста агента:

$dA/dt = pA – (kpA + mA) = (p– kp - m)A,$
при $W \geq pA \quad V = kpA$, (4)

$dA/dt = W – (kW + mA) = (1-k)W – mA,$
при $W < pA \quad V = kW$. (5)

Параметры p, k, m являются характеристиками агента. Зависимость $W = f_W(t)$ задает граничные условия – взаимодействие агента с окружающей его средой. Задание начальных условий требует фиксации исходного значения активов $A(0) = A_o$ и потока ресурсов $W(0) = W_o$.

Значения коэффициентов p, k, m в общем случае являются переменными, которые функционально зависят как от текущего состояния агента, так и от значений параметров внешней среды. Очевидно, что m функционально зависит от объема активов A, их структурной характеристики $AStr$ и от времени t, т.е. $m = f_m(A(t), AStr(t), t)$.

Доля переменных издержек k в доходе каждого агента зависит от A (экономия на объеме производства), $AStr$ (используемое оборудование и технологии), времени t, которое отражает возможность нововведений, снижающих затраты: $k = f_v(f_p(t), f_W(t), A(t), AStr(t), t)$.

Параметр эффективности использования активов p зависит от времени (например, работа может быть организована в 1, 2 и 3 смены, производительность труда может иметь сезонные колебания и др.), A и $AStr$ (сбалансированность оборудования и др.): $p = f_p(A(t), AStr(t), t)$.

Входной поток ресурсов W, очевидно, зависит от A и $AStr(t)$ (положительная обратная связь: чем больше производство, тем больше доход от реализации, тем больше абсолютное значение средств, потраченных на привлечение клиентов при одинаковом значении доли этих средств в прибыли агента), количества свободных ресурсов в системе L (платежеспособный спрос), а также структурного фактора всей системы с конкуренцией $STR(t)$, в частности, географического расположения агентов. (Значение W всегда неотрицательно). Таким образом,

$W = f_W(A(t), AStr(t), L(t), STR(t), t)$. (6)

Тогда уравнения примут вид:

$dA/dt = f_p – f_v – f_m$, при $f_W \geq f_p$; (7)

$dA/dt = f_W - f_v - f_m$, при $f_W < f_p$. (8)

Поскольку полученные выражения справедливы для любого агента, то поведение совокупности агентов будет описываться решением следующей системы $N(t)$ дифференциальных уравнений ($N(t)$ – общее количество агентов в системе в исследуемом интервале времени [0-t]):

$dA_i/dt = f_{pi} – f_{vi} - f_{mi}$, при $f_{Wi} \geq f_{pi}$, (9)

$dA_i/dt = f_{Wi} - f_{vi} - f_{mi}$, при $f_{Wi} < f_{pi}$, (10)

где $f_{pi} = f_{pi}(AStr_i(t), t)$; $f_{vi} = f_{vi}(f_{pi}(t), f_{Wi}(t), A_i(t), AStr_i(t), t)$; $f_{mi} = f_{mi}(A_i(t), AStr_i(t), t)$; $f_{pi} = f_{pi}(A_i(t), AStr_i(t), t)$; $f_{Wi} = f_{Wi}(A_i(t), L(t), STR(t), t)$, $i = 1..N(t)$ – номер соответствующего агента; A – численное значение активов агента; $AStr$ – структурная характеристика активов; индексами m, v, p отмечены функциональные зависимости значений постоянных издержек, переменных издержек, потенциального объема преобразования ресурса агентом соответственно; индексом W – функциональная зависимость значения потока ресурсов к агенту; L – количество свободного ресурса в системе; STR – структурная функция, отражающая взаимное пространственное расположение агентов и свободных ресурсов (топологию системы).

Замкнутость системы обеспечивается условием сохранения ресурса

$\Sigma A_i(t) + L(t) = \mathrm{Const}, \forall t.$ (11)

Начальные условия: $f_{vi}(0), f_{Wi}(0), f_{mi}(0), f_{pi}(0), A_i(0), AStr_i(0), STR(0), L(0), N(0)$. Вид этих функций зависит от особенностей конкретной системы.

Таким образом, математическая постановка задачи базируется на модели функционирования агента типа «доход – издержки» и сводится к решению следующей системы $N(t)$ дифференциальных уравнений ($N(t)$ – количество агентов в системе в интервале времени [0-t]).

Очевидно, что для разных систем вид одной и той же функциональной зависимости будет различным. Поэтому, даже записав явный вид требуемых зависимостей, возникает опасность потери общности решения задачи ЖЦК – оно может оказаться не универсальным. В то же время, даже записанная в явном виде система уравнений роста агентов в системе вряд ли будет иметь точное аналитическое решение.

В простейшей модели одного ЖЦ может быть использовано допущение об идентичности характеристик агентов (функциональные зависимости постоянных и переменных издержек, входного потока ресурсов для всех агентов одинаковы). Однако аналитическое решение даже такой «упрощенной» системы $N(t)$ уравнений (в случае нескольких агентов) не представляется возможным. Требуется переход к дискретным методам.

Для решения данной задачи был выбран метод клеточных автоматов (КА) [8]. Вычислительная среда клеточных автоматов (КА) успешно используется для построения и исследования моделей сложных саморазвивающихся систем. Это имитационные модели, которые требуют численной реализации на ЭВМ. Особенностью моделей в среде КА является то, что исследователь задает только начальные и граничные условия, а также правила взаимодействия элементов системы, после чего наблюдает процесс ее саморазвития.

Численная реализация модели

Модель ЖЦК реализована на квадратной матрице K×K (размерами от 100×100 до 600×600). Возможно увеличение размера матрицы, расширение размерности модели:

Внутренние элементы системы: каждый элемент матрицы находится в одном из трех состояний, соответствующих следующим элементам системы – «агрегированном» неподвижном S – агентам, «подвижном» L – свободному ресурсу и Z – среде. $\{S\} + \{L\} + \{Z\} = K \times K$. (далее знак множества опущен).

Множество связей: n-й агент – связная совокупность S-элементов (входящих в состав этого агента как S_{ij}, ij – номер элемента матрицы) – т. е. множество $\{S^n(t)\}$, зависящее от времени t. Связность $\{S^n(t)\}$ характеризуется значением координационного числа k каждого ij-элемента (количеством его ближайших соседей, k =1..4) в соответствующей локальной окрестности. Одноименные элементы L, Z идентичны, связей друг с другом не образуют.

Алгоритм функционирования: правило потребления ресурса (с переменными издержками) означает, что элемент L_{ij} присоединяется (с некоторой вероятностью $\rho_k^n(t)$) к растущему неподвижному агенту S^n, как только выполняется условие $k \geq 1$ в некоторой окрестности ij-элемента:

$X_{ij}(t) \in L \rightarrow X_{ij}(t+1) \in S^n$ с вероятностью $\rho_k^n(t)$, если $\{M_{ij}(t) \cap S^n(t)\} \neq \varnothing$,

где $X_{ij}(t)$ и $X_{ij}(t+1)$ – состояния ij-элемента матрицы в два последовательных момента времени; $M_{ij}(t) = \{X_{i+1,j}(t); X_{i-1,j}(t); X_{i,j+1}(t); X_{i,j-1}(t)\}$ – его окрестность Мура (в общем случае – любая другая). $\rho_1^n(t) < \rho_2^n(t) < \rho_3^n(t) < \rho_4^n(t)$.

Появление новых центров агрегации (отдельных S-элементов или их микрокластеров) происходит из L-элементов с некоторой заданной вероятностью, которая может быть функцией времени.

Условия

1. Н.У.: равномерное пространственное распределение L, Z, S-элементов.

2. Матрица изотропна, замкнута в тор.

3. Броуновская диффузия элементов Z и L.

4. Поле концентрации C для L описывается уравнением Лапласа: $\Delta C = 0$.

5. Г.У. по периметру матрицы: $dC/dn=0$, где n – нормаль к ее границе.

6. Периодические Г.У.: $X_{i,K+n} \equiv X_{in}$; $X_{K+n,j} \equiv X_{nj}$, где X_{ij} – состояние ij-элемента матрицы, n – натуральное число.

Для снижения количества параметров модели в дальнейшем принято допущение $f_v \equiv 0$ (отсутствие переменных издержек), что означает $\rho_k^n \equiv 1\ \forall\ n,\ k$. Подобное упрощение сдвигает точку равновесия из положения $f_W = (f_m + f_v)$ в положение $f_W = f_m$, не изменяя качественного вида ЖЦК.

Потребление ресурса (присоединение элементов L к агенту-агрегату S^n) ведет к увеличению его активов dA_n/dt ($A_n(t) \equiv S^n(t)$ – количество элементов в агрегате, их отрыв – к уменьшению). Координационное число k каждого ij-элемента из S^n характеризует локальную структурную характеристику активов $AStr_n(t)$. Величина переменных издержек $f_{vn}(A_n(t),\ AStr_n(t),\ t) > 0$ определяется значениями вероятностей $(1\text{-}\rho_k^n(t)) > 0$ – долей элементов ресурса, коснувшихся агента-агрегата, но не образовавших связь с ним. Максимально возможное количество потребляемого ресурса $f_{pn}(AStr_n(t), A_n(t), t)$ определяется доступной для роста свободной поверхностью агента: величиной $(A_n(t))$ и ее структурой $AStr_n(t)$.

Поток $f_{Wn}(A_n(t),\ AStr_n(t),\ L(t),\ STR(t),\ t)$ свободного ресурса к каждому агенту определяется $L(t)$, функцией STR(t)– взаимным пространственным расположением $L(t)$ и $S(t)$, а также совокупностью абсолютной величины активов агента $A_n(t)$ и его структурной характеристикой $AStr_n(t)$, обеспечивающих эффективное сечение агента в потоке ресурсов.

Удельные постоянные издержки $f_{mn}(A_n(t),\ AStr_n(t),\ t))$ определяются значениями $P_k^n(t)$, учитывающими структуру активов $AStr_n(t)$ через k. Появление (N(t)) и локализация новых агентов задается некоторой функцией времени. Зависимость параметров модели от времени обеспечивает возможность внешнего управления системой. Ассимиляция свободного ресурса агентами в процессе их роста (развития всей системы) приводит к соответствующему уменьшению количества свободного ресурса и далее к естественной смене правил отбора агентов, не заложенной в модель *a priori*.

Экономическая система в модели ПЖЦ

Рассмотрим пример одного жизненного цикла [9] в экономической системе. Двумерная квадратная решетка соответствует потенциальному рынку. Спрос превышает предложение, поэтому захват рынка определяется возможностями фирмы по производству и обслуживанию клиентов. Расположение фирмы на решетке (на рынке) выбирается случайным образом. Скорость роста у всех фирм в данном примере принята одинаковой – за один цикл (итерацию) каждая фирма «прирастает» на слой, толщину в одну клетку. Постоянные издержки отсутствуют. Если две растущие фирмы сталкиваются друг с другом, создавая взаимные ограничения росту, то в данном направлении их рост прекращается. Расчет завершается, когда все рыночное пространство оказывается разделенным. На каждом цикле возможно появление новых фирм на «свободной» территории в соответствии с заранее заданной вероятностью, отражающей как величину барьера входа на рынок, так и размеры еще не занятого на рынке пространства. Периодические граничные условия (рис. 2*а*) позволяют избежать искажений на границе. Исследуется зависимость распределения фирм по размерам (структура рынка) от величины барьера вхождения на рынок на этапе роста.

В процессе расчета раздел рынка наблюдается визуально на экране компьютера. Хорошо прослеживается влияние положительной обратной связи при «столкновении» крупной и мелкой фирм (крупная вышла на рынок раньше, мелкая – позже, ввиду одинаковой скорости роста размер отражает время работы фирмы на рынке): относительная и абсолютная скорость роста крупной фирмы больше, чем маленькой. Также хорошо прослеживается переход от одного этапа ЖЦК («снятие сливок», рудеральный – спрос настолько превышает предложение, что все ограничивается производственными возможностями) к другому («снижение издержек», конкурентный – рынок разделен полностью). Этот переходный этап начинается тогда, когда на рыночном пространстве первая пара фирм начинает создавать ограничения друг другу (т.е. «сталкивается, как на рис. 2*б*) и заканчивается полным разделом рынка (этап последующего передела рынка в данный пример не включен). В этот переходный период сосуществуют два основных параметра конкурентного отбора – максимальный захват рыночного пространства при любых разумных издержках и экономия на снижении издержек. Поэтому конкурентные стратегии поведения фирм должны сочетать два соответствующих базовых типа поведения, чему не уделяется достаточного внимания в литературе по менеджменту.

Доступное для роста пространство рынка показано белым (а, б), растущие фирмы показаны черным (а, б), образование границы между ними при взаимном ограничении роста – белой линией (б). Итоговые границы между фирмами при полном разделе рынка (в) показаны черными линиями, черные точки – исходное расположение фирмы при ее появлении (центр роста). Периодичность граничных условий показана стрелками на рис. 2*а*. Фирма, достигшая границы решетки, продолжает свой рост с ее противоположной стороны. Рост каждой фирмы происходит независимо друг от друга вплоть до их столкновения. После этого рост взаимно ограничивается и возможен только в направлении еще не занятого пространства рынка (показано белым на рис. 2 *а, б*).

При различных значениях вероятности P появления новой фирмы на рынке (в расчете на одну ячейку решетки) от величины барьера ΔT вхождения фирмы

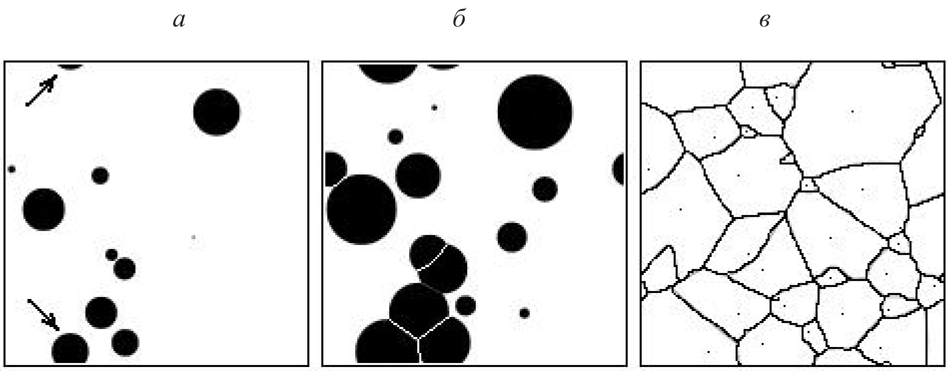

Рис. 2. Состояние системы на а) 48-м, б) 76-м шагах роста и в) окончательная структура (183 шаг) рынка

на рынок, комплексно учитывающий инвестиционные затраты и степень неудовлетворенного спроса, предположения для расчета самой величины барьера в данной статье не обсуждаются)). Различные типы структуры рынка показаны на вставках: монополия (ΔT**= -1,** высокий барьер); конкурентный рынок (ΔT**= -1,6;** ΔT**= -2,6,** средний и низкий барьер) с различным количеством фирм, конкурентный рынок мелких производителей (ΔT**= -4,2,** барьер практически отсутствует, высокий неудовлетворенный спрос).

Описанная выше модель ЖЦК является расширением известной модели «игра с нулевой суммой». В традиционной модели популяция агентов является «закрытой». Общее количество ресурсов, потребленных агентами, остается постоянным, а обмен ресурсами приводит к его перераспределению между агентами. Такие условия характерны только для стабильного рынка с сегментами, поделенными между агентами.

Макроэкономическая цикличность в модели ПЖЦ

Для экономических систем одним из условий является $P_k^n(t) \neq P_k^r(t)\ \forall\ n,r\ /\ /n,r \in \{N(t)\}$ – в системе нет одинаковых агентов.

Отличие модели с инновациями заключается в появлении в момент τ_{N+1} очередного – (N+1) агента. $P_k^{N+1}(t+\tau_{N+1}) < P_k^n(t+\tau_{N+1})$, ($n$=1..$N$. возможность инноваций – появление в момент τ_{N+1} (N+1) агента с меньшими постоянными издержками, чем у всех остальных N агентов, $P_k^{N+1}(t+\tau_{N+1}) < P_k^n(t+\tau_{N+1})$, n=1..N).Для всех предшествующих агентов (от 1 до N) в момент τ_{N+1} постоянные издержки подвергаются сдвигу в сторону увеличения: $P_k^n(t<\tau_{N+1}) < P_k^n(t>\tau_{N+1})$, n=1..N. Таким образом, чем раньше появился агент, тем более высокие постоянные издержки он имеет в данный момент времени. Повышение постоянных издержек (как один из результатов эволюционной инфляции) введено в полном соответствии с вы-

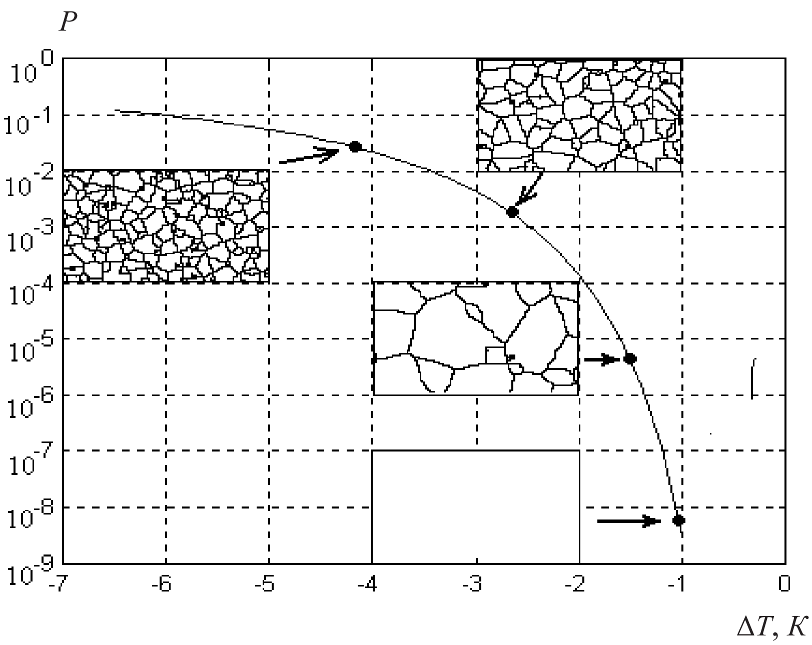

Рис. 3. Зависимость структуры рынка по окончании этапа его полного раздела

водами из работ В.И. Маевского по эволюции макрогенераций [3].

В приведенном расчете макроэкономической цикличности наблюдаются агенты с различными стратегиями (новаторы и консерваторы), которые сосуществуют одновременно. Например, в момент времени $t=50$ – одновременно сосуществуют агенты 1, 2, 3, 4 систем с различной эффективностью, при этом система 4 соответствует новаторам (как имеющая наибольшую эффективность), а системы 1, 2, 3 – консерваторам с различной эффективностью. Наблюдающаяся цикличность совокупности активов (7) всех одновременно присутствующих на рынке агентов является результатом появления новаторов, которые выигрывают в экономической эффективности и продвигают эволюцию всей системы.

Согласно иерархии конкурирующих агентов, отдельные рынки также конкурируют за ресурс и проходят те же этапы своего ЖЦ (рост продаж, стабилизацию, спад). Поэтому функция $\Psi(t) \neq \mathrm{Const}$ имеет колоколообразный вид, а у кривых ЖЦ агентов во время спада на рынке с необходимостью также появляется этап спада: диссимиляция агентов (уменьшение активов) и их дезинтеграция (распад на отдельные части). Фактором отбора на этапе спада при прочих равных условиях ($P_k^n=P_k^r$ и $p_k^n=p_k^r$, $\forall\ n,r \in N(t)$ – одинаковые функциональные зависимости постоянных и переменных издержек) становится «оптимизированная» структура (наибольшие значения k).

Заключение

В данной работе предложен переход от традиционно используемых в эконометрике аналитических моделей к имитационным. Численный расчет по имитационным моделям, выполняемый в вычислительной среде клеточных автоматов, позволяет ограничиться заданием взаимодействий агентов на микроуровне. Функциональная зависимость макроэкономических параметров не закладывается модель *a priori* (в отличие от аналитических уравнений макроэкономической динамики), т.к. оказывается результатом множества микроэкономических актов взаимодействия агентов.

Одной из важнейших особенностей представленной модели является то, что в рассмотрение включена внешняя по отношению к агентам среда (собственно среда Z и свободный ресурс L). В этом случае популяция агентов представляет собой “открытую” систему, динамически взаимодействующую с внешней средой [10]. При этом допускается исчезновение старых и появление новых агентов. Таким образом, удается моделировать различные стадии развития рынка, в частности – эволюцию конкуренции и соответствующих критериев отбора.

В представленной модели реализован простейший – двухуровневый – пример потока жизненных циклов, когда жизненные циклы отдельных агентов формируют жизненный цикл рынка. В данной модели исчезновение одних агентов и появление других связано с постоянно повышающейся эффективностью использования ими ресурсов (инновационное развитие), ведущей к эволюционной инфляции. Однако в модели могут быть реализованы и другие механизмы экономической эволюции.

Приведенные расчеты показывают возможность разработки полной модели макроэкономической цикличности на базе микроэкономических моделей конкуренции на рынке. Тогда модель ПЖЦ (перехода с микроэкономического на макроэкономический уровень) может быть реализована взаимосвязанной цепочкой моделей жизненных циклов конкурирующих субъектов (товар → технология → отрасль → региональная/национальная экономика → мировая экономика).

Список использованных источников

1. Курс экономической теории: учебник. Киров : АСА, 2003.
2. Кондратьев Н. Большие циклы конъюнктуры. М. : Экономика, 1993.
3. Маевский В.И. Введение в эволюционную экономику. М.: Япония сегодня, 1997.
4. Титов П.М. Автореферат диссертации «Конкретизация целостного подхода к управлению российской экономикой. М. : ИЭ РАН. 2004.
5. Титов П.М., Берг Д.Б., Котельникова Ю.О. Траектория развития общества как поток жизненных циклов/ Сб. тез. докл. V Международная Кондратьевская конференция, «Закономерности и перспективы трансформации общества». Т. 1. 2004.
6. Бурков В.Н., Ириков В.А. Модели и методы управления организационными системами. М. : Наука, 1994.
7. Popkov V.V., Berg D.B. General numerical model of the competition life cycle: from physics to economy. Physica A. V. 324, 2003.
8. Тоффоли Т., Марголус Н. Машины клеточных автоматов. М. : Мир, 1991.
9. Берг Д.Б., Беклемишев К.А. Компьютерная модель для исследования жизненного цикла конкуренции // Сб.тр. I Всерос. Интернет-конференции по эконофизике и эволюционной экономике. Екатеринбург, 2004.
10. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. М.: Мир. 1991. 240 с.