

ЭВОЛЮЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Чижанов С.О., к.э.н., сотрудник

МГУ им. М.В. Ломоносова

В работе рассматриваются положения эволюционной концепции развития систем производственных объектов, анализируются основы методов эволюционного моделирования, позволяющих анализировать функционирование популяций предприятий в условиях индивидуальности стратегии поведения каждого предприятия. Автором предложена методика построения модельного комплекса популяции предприятий, позволяющая проводить анализ функциональных и микроинституциональных процессов в реальной системе производственных объектов на основе моделирования динамики отдельных предприятий и отражения особенностей внутривидовой среды. Предложена комплексная методика параметризации модельного комплекса, его исследования на основе серий вычислительных экспериментов по различным сценариям, структурной модификации базового модельного комплекса на основе анализа результатов исследования.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ функционирования систем предприятий, выделенных в соответствии с тем ли иным критерием (отраслевая принадлежность, наличие общих рынков и т.д.), сформировался в отдельную экономическую дисциплину - industrial organization (теория отраслевых рынков). Данная дисциплина в настоящий момент характеризуется наличием достаточного развитого корпуса предпосылок относительно функционирования как отдельного предприятия, так и их систем (см., например, [26]). Однако, на наш взгляд, многие позиции традиционной теории отраслевых рынков (ТОР) ограничивают возможности адекватного анализа, в т.ч. модельного, развития систем предприятий по целому ряду направлений: институциональное развитие отраслевых структур (т.е. изменение распространенности в них различных стратегий поведения), эволюция структуры отраслевых рынков (т.е. изменение степени горизонтальной концентрации и вертикальной интеграции производства). Преодоление подобной ограниченности традиционного подхода требует вовлечения современных парадигм, одной из наиболее развитых среди которых является эволюционная теория экономических изменений. Настоящая работа посвящена анализу основных положений эволюционной теории в их приложении к анализу динамики систем производственных предприятий, а также разработке методики построения эволюционных моделей, позволяющей отразить свойства реальной системы предприятий и проанализировать возможные траектории её институционального и финансово-хозяйственного развития.

1. НАПРАВЛЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ТЕОРИИ МЕЗОЭКОНОМИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Вначале мы предлагаем краткий сравнительный анализ основных положений традиционной теории отраслевых рынков и эволюционной концепции (см., например, пионерную работу данного направления [10], а также изложение различных аспектов эволюционной экономики в [1], [4], [7]). Анализ целесообразно начать со сравнения позиций в отношении основных аспектов функционирования *отдельного предприятия* и принятия им стратегических решений:

- структура предприятия: единый субъект целеполагания и принятия решений (традиционная ТОР) или коалиция заинтересованных лиц – стейкхолдеров, – имеющих не всегда совпадающие интересы в отношении функционирования фирмы и формирующих в результате внутрифирмен-

ных процессов комплекс различных целей (эволюционная теория);

- характер целей деятельности предприятий: наличие единых и неизменных целей предприятия в целом, присущих всем агентам в экономике (максимизация прибыли, капитализации и т.д.), или наличие целого комплекса целей, адаптивно изменяющихся в процессе функционирования путем обучения, проб и ошибок;
- характер ограничений деятельности: исключительно внешние, постоянные и не зависящие от фирмы (свойства технологий, правовое регулирование и др.) или сочетание внешних и внутренних (реальная структура интересов стейкхолдеров, степень их рациональности и т.д.) с различной и непостоянной силой воздействия на организацию;
- механизм достижения целей: одномоментная оптимизация распределения ресурсов между направлениями деятельности или итеративный и адаптивный процесс улучшения правил принятия решений и изменения организационных структур.

Микроэкономической основой анализа и моделирования процессов формирования стратегий поведения организаций в рамках эволюционного подхода является *поведенческая теория фирмы* (см. [3]). Ключевой для эволюционного подхода является концепция организационного обучения, трактующая поведение организации как процесс поиска и выработки правил принятия решений, обеспечивающих приемлемый результат функционирования в условиях несовершенства информации (как ее неполноты, так и избытка относительно способностей фирмы по ее переработке), т.е. достижение целей фирмы осуществляется путем улучшения правил принятия решений и изменения организационных структур в условиях сочетания внешних (технологических, правовых и т.д.) и внутренних (интересы и степень рациональности участников и т.д.) ограничений с различной и непостоянной силой воздействия на организацию. При этом в качестве целевого ориентира деятельности фирмы выдвигается не состояние, максимизирующее некий единственный финансово-хозяйственный показатель (прибыль и т.д.), а поддержание организационного компромисса – состояния, обеспечивающего приемлемый уровень удовлетворенности для всех участников организации и достижимого на основе стабильных общепризнанных процедур (рутин, эмпирических правил). Соответственно *стратегия предприятия* рассматривается как целостный и непротиворечивый комплекс взаимосвязанных текущих функциональных и стратегических (влекущих необратимые и долгосрочные последствия для функционирования организации) решений, достаточный для регулирования поведения предприятия во всех сферах его деятельности.

Таким образом, в рамках поведенческого подхода фирма рассматривается как локально рациональная и адаптивная система, стратегия поведения которой реализуется в виде совокупности относительно устойчивых и иерархически структурированных правил функционирования (носящих в разных работах названия «рутин», «стандартных процедур принятия решений», «микроинститутов» и т.д.) и формируется в результате декомпозиции общефирменных задач на ряд простых задач, решаемых ее структурными подразделениями. Подобная декомпозиция позволяет каждому подразделению действовать на основе своих простых правил принятия решений, учитывающих ограниченное число факторов. При этом предполагается, что адаптация фирмы затрагивает как её цели (через изменение желательных количественных значений тех или иных характеристик ее

функционирования в каждый момент времени под влиянием реального состояния фирмы и степени достижения целей в предыдущий момент, а также опыта относительно сходных целей сопоставимых организаций в предыдущие моменты), так и правила функционирования (через механизмы организационного поиска новых эффективных рутин, если используемые рутин не дают более удовлетворительных результатов).

Соответственно, из различий взглядов на *отдельное предприятие* вытекает различие позиций в отношении развития *систем* предприятий. Традиционная теория предполагает, что структура отраслевой или иной системы предприятий складывается под определяющим влиянием различных внешних факторов и в результате их взаимодействия. Соответственно предполагается, что сложившаяся структура претерпевает изменения лишь при изменении внешних факторов и при этом внутрисистемные процессы не представляют отдельного интереса. Из этого вытекает и предположение, что *внутренние факторы* (интересы и поведение стейкхолдеров и т.д.) и *внутренняя среда предприятий и их рыночной системы* претерпевают пассивную подстройку под внешние условия, по крайней мере, эти процессы подстройки не являются предметом исследования. Таким образом, одной из отличительных особенностей традиционной ТОР является *рассмотрение стационарных структур в их определяющей обусловленности внешними факторами*. Более того, предполагается, что отраслевые структуры, кроме стационарности, характеризуются и внутренним единообразием в том смысле, что для всех предприятий характерно некоторое единое поведение во всех основных функциональных сферах (или же в рамках отраслевой структуры можно выделить ограниченное число типов фирм, для каждого из которых характерно единое поведение). Например, при формировании структуры типа «лидер и окружение» фирма – «лидер» устанавливает цену, ориентируясь на незанятый «окружением» рынок, а фирмы «окружения» устанавливают объем производства, ориентируясь на установленную «лидером» цену на рынке.

Соответственно, в качестве ещё одной ключевой особенности традиционной ТОР можно выделить *отсутствие интереса к разнообразию агентов* как к фактору, который (а) внутренне обуславливает трансформацию рыночной структуры и (б) определяет способность системы предприятий эффективно удовлетворять интересы внешних и внутренних стейкхолдеров. Эта предпосылка основывается на концепции репрезентативного агента, глубоко укоренившейся в микроэкономическом анализе и предполагающей, что все агенты (фирмы отрасли) имеют сходные интересы, находятся в сходных условиях и, соответственно, должны демонстрировать сходное поведение. Однако существенное поведенческое разнообразие агентов, функционирующих в *единых внешних условиях*, является характерным свойством большинства мезоэкономических систем: причины формирования и устойчивого сохранения поведенческой неоднородности были исследованы во многих работах (см., напр., обзор подобных исследований в [18]) и нашли обоснование в рамках различных концепций: так, кооперативная концепция объясняет поведенческое разнообразие как результат межорганизационных различий в соотношении числа и силы стейкхолдеров с различными интересами; поведенческая концепция –

как результат различий организационных структур и способности организаций к усвоению опыта и обучению. Очевидно, в реальных, особенно российских, условиях сохранение поведенческого разнообразия предприятий объясняется действием всех теоретически выделяемых факторов (возможно, в различных пропорциях для различных секторов). Однако в рамках эволюционной концепции находят объяснение последствия поведенческого разнообразия для развития систем предприятий.

Вместе с тем, необходимо выделить ряд достижений традиционной ТОР, дающих данному направлению экономического анализа возможность быть инструментом обоснования перспектив развития реальных систем предприятий и вариантов целенаправленного воздействия на них. Прежде всего, в рамках традиционной ТОР разработаны многочисленные типологизации отраслевых структур, основанные на разных критериях. Базирующиеся на этих разработках эмпирические исследования ориентированы, как правило, на нахождение для рассматриваемой совокупности предприятий наиболее близких в смысле некоторых критериев (например, концентрации рынка, рыночной власти фирм и т.д.) теоретически изученных «чистых» типов рыночной структуры. Подобный подход позволяет определять многие специфические черты функционирования отраслевых рынков, основываясь на немногих количественных характеристиках (индексы концентрации и т.д.), которые могут быть определены на основе регулярной статистики. Естественно, подобный анализ предполагает привлечение соответствующей статистической базы, которая уже на протяжении многих десятилетий целенаправленно формируется многими центрами на основе практически единой методологии и сопоставимости как для различных моментов времени, так и для различных отраслей.

Отталкиваясь от проведенного выше краткого анализа, мы можем сформулировать ключевые черты эволюционной концепции анализа систем предприятий, позволяющих преодолеть указанные ограниченности традиционного взгляда на отраслевые системы.

Прежде всего, предметом рассмотрения эволюционной теории мезоэкономических структур является не отрасль или иная система предприятий, связанных исключительно отношениями конкуренции и кооперации, а *популяция предприятий*. Необходимо отметить, что единообразное определения популяции в рамках эволюционной экономики не сложилось, однако существующие трактовки укладываются в следующее определение: *популяция фирм* – множество взаимозависимых в выборе и результатах реализации стратегии фирм, которое удовлетворяет следующим качественным критериям.

- (а) Предприятия действуют на общих рынках конечного продукта, производственных ресурсов, физического капитала в общих для всех фирм условиях налоговой системы и финансового сектора. Совместное функционирование на многих рынках обуславливает наличие *многих каналов* взаимовлияния фирм, «*многомерную*» (т.е. необъясняемую спецификой функционирования какого-либо одного рынка) зависимость положения отдельного предприятия от положения и стратегий поведения других предприятий популяции.
- (б) Предприятия образуют общую информационную среду, позволяющую фирмам накапливать и использовать при принятии решений опыт относительно стратегий и эффективности функционирования других агентов.

Выбор границ и широты популяции обуславливается определением исследователем в соответствии с его

целями следующих основных аспектов: рассмотрение одного конечного продукта или ряда продуктов – близких субститутов, одного или множества технологий производства продукта, одного локального рынка или нескольких взаимосвязанных (через возможность переброски товара, миграции потребителей и т.д.) рынков у фирм. Вследствие переноса эволюционной экономикой акцента на множественность взаимосвязей, в т.ч. информационных, «конфигурация», т.е. границы, отрасли и популяции могут не совпадать, даже если в основу этого выделения положено использование одной ключевой технологии или действие на одном ключевом рынке. Популяция может быть в некоторых аспектах уже отрасли, а в некоторых – шире: так, к одной популяции могут быть отнесены фирмы, действующие на одном локальном рынке конечного продукта (т.е. популяция сужается территориальными рамками), но использующие различные технологии производства этого продукта. Отметим, что целесообразно исследовать популяцию в нескольких «конфигурациях», т.е. границах, основанных на узком или более широком рассмотрении выделенных выше аспектов. Это позволяет определить такой уровень рассмотрения популяции, который, с одной стороны, обеспечивает учет наиболее существенных взаимосвязей предприятий, а с другой – поддается агрегированному статистическому описанию с приемлемой степенью надёжности и адекватности. Например, в качестве популяции можно рассматривать узкое множество предприятий, действующих на локальном рынке продукта узкой товарной группы (например, «популяция предприятий г. Москвы, производящих хлеб и хлебобулочные изделия»), можно расширять это множество за счёт ослабления критериев рыночной («популяция предприятий пищевой промышленности г. Москвы») или территориальной принадлежности («популяция предприятий Центрального федерального округа, производящих хлеб, хлебобулочные изделия и кондитерские изделия из теста») предприятий.

При этом поскольку в анализ включается поведенческое «измерение» популяции, то в эволюционных исследованиях разделяются понятия функциональной и поведенческой структур популяции: под первой понимается степень горизонтальной концентрации и вертикальной интеграции производства в данной популяции (т.е. структура отрасли в традиционном понимании), под второй – распространённость в популяции различных стратегий поведения.

Следующее методологическое положение эволюционной концепции анализа систем предприятий – рассмотрение структуры популяции как *динамической характеристики*, изменяющейся в процессе «преломления» внешних факторов в среде популяции, т.е. взаимодействия внешних факторов, индивидуальных процессов внутри отдельных предприятий и популяционных механизмов распространения «образцов» («паттернов») поведения в отношении потребителей, других членов популяции, агентов смежных популяций и т.д. Переход популяции от одного состояния к другому, равно как и поддержание стационарного состояния, обусловлены протеканием целого ряда таких популяционных процессов, как рост одних групп фирм, выбытие других, появление фирм – «новичков». При этом стабильные (в т.ч. и нулевые) темпы изменения ситуации на уровне популяции, т.е. роста агрегированного

выпуска популяции и т.д., могут сопровождаться разными и существенно изменяющимися темпами протекания отдельных популяционных процессов: так, на одних этапах развития популяции её рост может обеспечиваться интенсивным появлением новых фирм, на других – интенсивным ростом отдельных групп фирм популяции.

Рассмотрение популяционных процессов в динамике и на микроуровне требует модификации по ряду направлений информационно-статистического обеспечения моделей систем предприятий. Прежде всего, основой анализа не могут являться агрегированные (т.е. совокупные или усредненные) данные по популяции, поскольку они скрадывают индивидуальные различия фирм и дают слабые возможности исследования различных процессов по отдельности: «входом» (и непосредственным «выходом») анализа могут служить только панельные данные (panel data) по отдельным предприятиям популяции или их однородным в некоторых смыслах группам. При этом рассмотрение поведенческих характеристик и стратегических процессов как равноправных с функциональными требует выработки методологии совместного использования данных регулярной статистики, ориентированной на учёт исключительно функциональных характеристик и результатов «социологических исследований» предприятий, которые, как правило, методологически слабо согласованы между собой и с регулярной статистикой.

В условиях институционально неоднородной экономики акцент на анализ различных процессов отбора и диффузии в популяции наиболее эффективных «образцов» поведения означает необходимость разработки подходов к отражению в модельных исследованиях не только *параметрического разнообразия стратегий* агентов популяции, т.е. количественного различия отдельных характеризующих поведение фирм переменных, но и *структурного разнообразия*, т.е. качественно различия правил принятия решения отдельных фирм. *Структурное разнообразие агентов* предполагает, что фирмы популяции могут иметь различные цели своего функционирования, различные дополнительные ограничения при выработке стратегий (например, по сохранению объёмов выпуска или финансовых результатов) и механизмы их пересмотра. Отражение в эволюционных моделях структурного разнообразия агентов требует создания различных модельных фреймов предприятия, отражающих различные качественные типы поведения. Однако рассмотрение поведенческих изменений в популяции как процесса распространения успешных «образцов» стратегий позволяет расширить представления о возможностях выхода из состояния преобладания неэффективных стратегий поведения без экзогенного вмешательства «сверху» и показать, что такой выход возможен при значительно менее жёстких условиях, чем требуют разработки, основанные на традиционных неоклассических подходах (см., напр., исследование диффузии институтов взаимодействия финансовых и промышленных структур в [28]).

Соответственно вышеизложенным пунктам выделяется специфика целей эволюционного анализа, в т.ч. модельного. На «нижнем» уровне, который развивается в настоящее время и связан с исследованием отдельных популяций, стоят задачи анализа чувствительности функциональной и поведенческой структуры к факторам внешней среды популяции, а также

выявления возможных характерных в том или ином смысле (монотонность, скорость и т.д.) режимов эволюции исследуемой популяции.

По мере накопления опыта эволюционного анализа на «нижнем уровне» станет возможен переход к «верхнему уровню», связанному с исследованием общих закономерностей эволюции мезосистем. На этом уровне, как представляется, можно выделить два круга задач. Первый круг задач, вытекающий из рассмотрения структуры популяции как динамической, связан с разработкой *подходов к типологизации жизненных циклов популяций предприятий*, т.е. выделением некоторой совокупности типов развития поведенческой и функциональной структуры мезоэкономических систем с характерными для данных типов стадиями развития, к которым можно отнести эволюцию той или иной конкретной популяции. Здесь также необходимо отметить, что экономическая наука накопила достаточно разнообразный опыт классификации типов развития на макроуровне, например, выделения «страновых моделей развития», «стадий роста» и т.д. Однако проработанность подобного анализа на мезоуровне значительно ниже, более того, для данного уровня необходимо развитие *генетической «древовидной» типологизации*, т.е. последовательное выделение новых более частных типов в рамках более общих. Это позволит, с одной стороны, отразить наблюдаемое в реальности значительное разнообразие траекторий развития систем предприятий и других микроагентов, а с другой – постараться выделить наиболее общие возможные типы эволюции популяций. Так, в работе [27] на основе анализа некоторой условной популяции, которой доступны несколько конкурирующих технологий производства, были выделены стадии «поиска», «роста за счёт инноваций», «роста за счёт имитации».

Второй круг задач связан с расширением инструментария экономической политики в сфере воздействия на институциональное развитие экономики, т.е. с выработкой методов стимулирования распространения стратегий поведения, считающихся социально желательными (к примеру, инновационно активных). Поскольку национальную экономику можно рассматривать как сообщество различных, обладающих уникальными чертами популяций, то основная проблема, как представляется, связана с эффективным согласованием мер экономической политики разного уровня: макроэкономического, общего для всех систем объектов, и мезоэкономического, носящего селективную отраслевую или рыночную направленность и предполагающего настройку на конкретную популяцию. Так, меры, регулирующие вход и выход в популяцию, могут как определяться едиными общеэкономическими нормами, так и настраиваться на конкретную ситуацию через лицензирование определённых видов деятельности на определённой территории и т.д. Актуальность данного направления обусловлена тем, что, как показано во многих исследованиях поведения предприятий, традиционные макроэкономические меры могут приводить к существенным деформациям институциональной системы (укоренению «институциональных ловушек» и т.д.). Необходимо отметить, что необходимость анализа с позиций институционально-эволюционной теории влияния мер экономической политики на динамику трансформационных процессов в российской экономике неоднократно поднималась многими исследователями. Однако работы, обращавшиеся к данному

кругу проблем (как [20] и [24]), ориентированы на анализ на очень высоком уровне обобщения различных типов экономических агентов и не рассматривают влияние на процессы, происходящие на мезоэкономическом уровне, т.е. внутри популяций микроагентов, при этом в силу значительной абстрактности данные модели ориентированы преимущественно на теоретическое исследование, не привязанное к информационной базе по тому или иному объекту, и получение качественных выводов. Вследствие данных обстоятельств подобные модели представляют ограниченные возможности для проведения анализа конкретного воздействия различных сценариев экономической политики на конкретные рыночные и отраслевые структуры. Поэтому подобный анализ представляется целесообразным проводить на основе обобщения результатов анализа отдельных популяций. Данный подход позволит определить, в какой степени реакция структуры популяции на изменение параметров экономической политики (т.е., например, изменение скорости и характерных режимов диффузии различных стратегий при изменении параметров налоговой системы) определяется уникальными чертами конкретной популяции и её внешней среды (характер технологий, спроса и т.д.), а в какой – фундаментальными факторами, присущими мезоэкономическим системам независимо от отраслевых или отраслевых условий (несовершенство адаптации предприятий и т.д.). Подобный анализ расширит возможности определения такого сочетания мер разного уровня, которое позволит согласовать условия эффективного институционального развития различных секторов экономики.

2. МОДЕЛЬНЫЙ АППАРАТ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ТЕОРИИ МЕЗОЭКОНОМИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Как следует из вышеизложенного, базирующиеся на традиционных подходах модели систем производственных объектов слабо ориентированы на отражение процессов, определяющих и составляющих основу эволюции поведенческой структуры популяции: распространение информации, поиск агентами успешных «образцов» стратегий и изменение ими своих стратегических установок агентов и т.д. В силу этого данные модели малоприспособлены для моделирования процессов изменения институциональных структур на мезоуровне, порождающих изменение закономерностей функционирования макроуровня. Фактически подобные модели рассматривают системы предприятий как структурно неизменные, т.е. функционирующие по неизменным алгоритмам. В связи с этим на основе эволюционной теории интенсивно развивается широкий спектр подходов, учитывающих выделенные выше обстоятельства (обзор их широкого спектра можно найти, например, в работе [8]). Данные подходы ориентированы на равноправное отражение на микроуровне (в частности уровне отдельных предприятий) эволюционных, т.е. связанных с изменением распространенности различных стратегий поведения в различных сферах, и функциональных, т.е. связанных с текущей деятельностью и изменением производственного потенциала в результате реализации стратегий, процессов на уровне системы объектов в целом. Это и позволяет анализировать различные каналы взаимовлияния предприятий популяции, образующих единую конкурентную среду.

Одним из наиболее распространённых среди них становится метод многоагентных вычислительных моделей (ACE, Agent-based Computational Economics) эволюции популяций экономических микрообъектов, который рассматривает экономику как систему, состоящую из многих микроагентов, действующих в условиях взаимозависимости на основе индивидуальных правил поведения и способных к адаптации успешных (имитации) и выработке новых (инновации) «образцов» стратегий. Наиболее современный обзор истории, методологии, инструментальных методов и направлений применения вычислительных многоагентных моделей дан в [12]. В настоящем разделе мы охарактеризуем основные черты данного подхода и предложим направления использования данного подхода в анализе систем производственных фирм.

ACE – подход можно рассматривать как развитие имитационного моделирования на основе эволюционной концепции, что определяет его значительные преимущества по сравнению с другими подходами эволюционного моделирования: с одной стороны, ACE-подход «генетически унаследовал» от имитационного моделирования комплексное, несхематизированное отражение таких сложных объектов, как, например, предприятие, т.е. «глубину моделирования» (что отличает его, к примеру, от метода генетических алгоритмов); с другой – ACE-подход предполагает явное отражение внешней среды, контекста эволюционных процессов, т.е. «широту моделирования». Отличительной методологической чертой данного метода по сравнению с имитационным моделированием является акцент на непостоянство, изменение законов функционирования и реакции отдельных элементов и системы в целом по мере ее развития на основе внутренних факторов (в частности – изменения индивидуальных норм поведения). Данный подход позволяет интегрировать моделирование функционирования популяции агентов в рамках данной поведенческой структуры и моделирование эндогенного изменения этой структуры в результате принятия стратегических решений отдельными агентами.

Ориентация многоагентных моделей на отражение индивидуальности «внутреннего мира» каждого предприятия популяции позволяет учесть влияние на функционирование фирм как внешних и единых для всех них условий среды, не учитывающих специфику конкретного агента, так и специфических внутрифирменных факторов, связанных с различиями структуры интересов групп внутренних стейкхолдеров на разных предприятиях, различиями механизмов учёта предприятием интересов этих групп (например, на основе доминирования интересов некоторой группы стейкхолдеров или поддержания организационного компромисса), возможным наличием уникальных черт предприятия (причём в сфере как производственных, так и управленческих технологий). Данное свойство обуславливает основное «конкурентное преимущество» многоагентных моделей перед родственными направлениями эволюционной экономики, например, методами генетических алгоритмов (см. [2]).

Концептуальную основу ACE-подхода можно выразить в следующих положениях.

1. Автономность развития агента и популяции, т.е. обусловленность поведенческих изменений сложностью внутренней структуры агента (в случае предприятий – различием интересов стейкхолдеров), спецификой популяционной

среды и лишь опосредованная обусловленность этих изменений влиянием внешней среды.

2. Несовершенство рациональности агента и его способности обрабатывать информацию, что обуславливает индивидуальность восприятия внешней среды каждым агентом и локальность его поиска стратегий поведения, направленность поиска на нахождение не оптимальных, а приемлемых для всех групп стейкхолдеров альтернатив.
3. Наличие у агентов коммуникационных и обученческих возможностей, что обуславливает способность предприятия обмениваться информацией с другими предприятиями и на основе получаемого опыта трансформировать индивидуальные стратегии.

Отметим также, что данный подход не только продуктивно используется в рамках эволюционного подхода, но и занимает место одного из методологических и инструментальных оснований моделирования широкого круга процессов в социальных системах в рамках стремительно развивающихся междисциплинарных исследований общества как сложной системы, охватывающих экономические, социологические и иные аспекты.

Применение эволюционного подхода для моделирования динамики популяции фирм имеет двоякую цель. В рамках реформирования конкретной организации эволюционная модель позволяет выявить наиболее жизнеспособные варианты стратегии предприятия в условиях реальной конкурентной среды, определяемой стратегиями поведения других членов популяции, и занять устойчивую институциональную нишу. Это достигается тем, что одной из целей эволюционного моделирования является исследование круга взаимосвязей между стратегиями, эффективностью и выживанием (ростом) фирмы в конкретных условиях среды. Так, наиболее распространённый принцип «фирмы максимизируют прибыль» должен быть дополнен следующими условиями: «если существуют положительные обратные связи между прибылью и выживанием фирмы, прибылью и удовлетворённостью доминирующих стейкхолдеров». Как показывают многочисленные исследования, данные условия не выполнялись в советской экономике и не всегда выполняются в современной российской. В рамках анализа институциональных изменений на уровне популяции в целом подобные модели позволяют оценить возможность возникновения в моделируемой части экономической системы различных негативных явлений (например, дезорганизации деятельности агентов вследствие «институционального вакуума», закрепление неэффективных норм, монопольной структуры) в зависимости от начальных и внешних условий, оценить жизнеспособность и эффективность программ «институционального строительства сверху» (т.е. внедрения силами государства тех или иных институтов), оценить эффективность развития информационной и правовой инфраструктуры рынков.

При этом поскольку модельный комплекс должен обеспечивать замкнутое описание динамики как ресурсно-технологических, так и поведенческих свойств фирм популяции, постольку комплекс должен отражать основные функциональные и эволюционные процессы:

- протекающие в рамках отдельной фирмы:
 - Формирование фирмой текущих поведенческих решений во всех функциональных сферах на основе принятых ею стратегий («генотипа фирмы»);
 - Функционирование фирм и формирование результатов в текущих условиях популяции;
 - Формирование фирмой стратегических поведенческих решений в сферах воспроизводства и динамика перехода фирмы из одного состояния в другое;

- Накопление опыта внутри фирмы;
- Оценка своего состояния и адаптация стратегий поведения на основе собственного и полученного от других фирм популяции опыта («мутация фирмы») или выход из популяции («гибель» фирмы).
- Протекающие в рамках популяции в целом:
 - Распространение информации среди фирм популяции;
 - «Рождение» новых фирм (вход в популяцию);
 - Появление фирм с принципиально новыми стратегиями («мутация генофонда популяции»);
 - Взаимодействие между фирмами на рынках (формирование агрегированных характеристик спроса на ресурсы, предложения продукта и т.д.);
 - Взаимодействие популяции с системами внешней среды через функционирование соответствующих рынков.

Таким образом, эволюционное моделирование ориентировано на равноправное и взаимосвязанное отражение всех уровней изменений в системе предприятий:

1. Процессы ресурсно-технологической и поведенческой динамики отдельных предприятий: поиск более эффективных производственных и управленческих технологий, изменение способов адаптации организации к изменению условий. Это позволяет, в частности, определять характерные для данной популяции стадии «жизненного цикла», т.е. этапы развития предприятий.
2. Процессы внутренней динамики популяции: «демографические» процессы появления, роста и выбытия фирм, «миграции» фирм между разными типами поведения.

При этом соотношения модели, описывающие определённый процесс, группируются в блоки: блочная структура модели позволяет преодолеть ряд присущих эволюционным моделям проблем как технического, вычислительного, так и содержательного, аналитического характера:

1. Снижение общей размерности позволяет снизить вычислительную сложность реализующего модель алгоритма и, соответственно, отчасти решить проблему «проклятия размерности».
2. Наличие блоков, отражающих в целом тот или иной конкретный процесс на предприятии или популяции, позволяет упростить выделение интересующих результатов в общем массиве «выхода» модели и их интерпретацию.
3. Структурная модификация модели существенно облегчается за счёт возможности изменять или вводить новые блоки, описывающие конкретно тот процесс, отражение которого в модели необходимо уточнить или видоизменить, без изменения других блоков и структуры модели.

Соответственно, эволюционная модель популяции фирм включает модели отдельных предприятий, а также модели популяционных процессов. Модель популяционных процессов состоит из соотношений, описывающих взаимодействия предприятий и формирование свойств популяции как целого (например, механизм формирования совокупного предложения популяции на рынке конечного продукта). Модели отдельных предприятий состоят из систем соотношений между основными характеристиками функционирования и развития предприятия, включающих в явном виде описание стратегий фирмы, их формирования и влияния на динамику собственно функциональных (хозяйственно-финансовых) процессов и изменение положения фирмы (производительности капитала, запасов ресурсов, финансовых ресурсов и т.д.). Например, финансово-инвестиционная стратегия и её влияние могут отражаться через соотношения, описывающие процессы формирования и распределения финансовых ресурсов фирмы между различными направлениями инвестирования, а также влияние инвестиций на объём, производительность основных фондов и т.д. При этом модели предприятий

могут различаться как *параметрически* (т.е. исключительно отдельными параметрами при неизменности вида и состава соотношений), так и *структурно* (т.е. наличием и видом самих соотношений модели).

Описание изменения производственного потенциала отдельной фирмы и изменения ею своих стратегий позволяет отразить и исследовать действие эволюционных механизмов, в результате которых неэффективные фирмы (правила поведения которых не обеспечивают способности к выживанию и расширенному воспроизводству) или адаптируют свои стратегии, или покидают рынок, в то время как некоторые латентные фирмы, привлечённые потенциалом рынка, входят в состав данной популяции. Анализ «демографических» и «миграционных» процессов в популяции позволяет изучать роль различных эволюционных механизмов динамики норм. Наиболее широкое распространение данные исследования получили в рамках «организационной экологии» (см. пионерную работу в данном направлении [5]). Однако большинство исследователей рассматривали в качестве определяющего микроинституциональное развитие какой-либо отдельный эволюционный механизм: [29] и [9] акцентировали внимание на процессах инновации и первичной имитации, [25] – на процессах «смертности», т.е. выбытия нежизнеспособных фирм, [23] и [21] – на процессах массовой адаптации уже существующих в экономическом пространстве норм.

Однако в силу наличия множественных обратных связей эволюционные процессы являются существенно нелинейными. Следствием подобной нелинейности является наличие как прямого, так и опосредованного влияния различных механизмов (например, вход новых фирм усиливает конкурентное давление на другие фирмы и стимулирует их адаптацию) и невозможность разложения траектории на отдельные составляющие, детерминированные исключительно действием какого-либо одного механизма. Однако выделение различных эволюционных механизмов в явном виде позволяет аналитически обосновать приоритетные для конкретной системы предприятий пути институционального развития: упрощение входа новичков (т.е. «увеличение рождаемости»), или ускорение выбытия неэффективных агентов (т.е. «увеличение смертности»), или ускорение адаптации и роста эффективных фирм (т.е. усиление «миграции между стратегиями»).

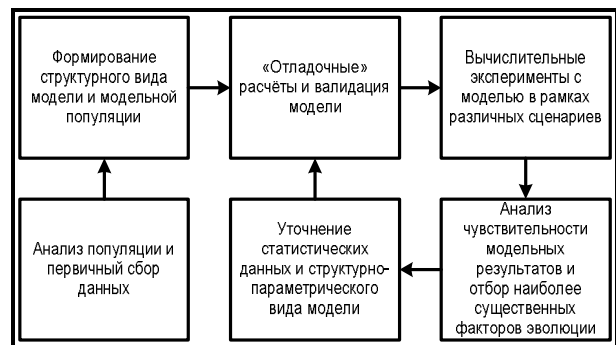


Рис. 1. Итеративная схема разработки модельного комплекса

Формирование структуры модельного комплекса, ориентированного на анализ реальной популяции, т.е. определение конкретного круга отражаемых процессов,

элементов внешней среды и степени их детализации, носит многошаговый итеративный характер, включающий этапы построения «начального приближения» модельного комплекса, его исследования на основе серий вычислительных экспериментов, анализа полученных результатов и последовательной структурно-параметрической модификации комплекса на основе результатов анализа. Данный алгоритм отражён на рис. 1.

Предмодельный анализ специфики конкретной популяции, многие аспекты которого базируются на качественных экспертных оценках, позволяет создать «начальное приближение», т.е. некоторый набор возможных структур модели. Экспериментирование с различными вариантами модели позволяет выявить факторы внутри популяции и в её окружении, к которым в наибольшей степени чувствительна траектория развития исследуемой популяции (например, ключевые характеристики рынков, экономической политики), и сформировать путём последовательной модификации модели такую структуру, которая обеспечивает приемлемый для исследователя компромисс между вычислительной и интерпретационной сложностью модели, с одной стороны, и надёжностью отражения ею свойств развития популяции в различных внешних условиях. К примеру, описанный ниже модельный комплекс в наибольшей степени ориентирован на исследование систем предприятий, характеризующихся, с одной стороны, значительным числом и разнообразием агентов, а с другой – их взаимозависимостью. Разработка эволюционных моделей для существенно концентрированных рынков требует отражения таких дополнительных обстоятельств, как стратегическое поведение и решающее влияние отдельных агентов, возможности их непосредственных взаимодействий.

Таким образом, модельный комплекс, построенный в соответствии с изложенными выше принципами, позволяет на микроэкономическом уровне описать основные эволюционные механизмы, определяющие изменение относительной распространённости различных стратегий поведения среди фирм конкретной популяции:

- адаптация фирм: изменение индивидуальных стратегий поведения без выбытия фирм;
- выбытие фирм, не удовлетворяющих интересы своих стейкхолдеров или лишившихся финансовых, производственных ресурсов;
- появление новых фирм, копирующих успешные или индустрирующие новые стратегии;
- изменение распространённости в популяции фирм-носителей различных стратегий (например, их совокупной рыночной доли).

Необходимо отметить, что к данному моменту разработано и постоянно обновляется множество специализированных программных сред (например, среда SWARM (www.swarm.org), подходящих для реализации эволюционных моделей и реализованных на базе различных языков программирования. Однако эволюционные модели могут реализовываться и в виде программно-алгоритмического пакета в стандартной вычислительной среде (например, MathLab или MathCAD).

Необходимо также определить специфику эволюционного моделирования в ряду подходов, ориентированных на исследование развития систем экономических микроагентов. Эволюционные модели весьма близки и по своей структуре, и по своим целям к «экспериментальной экономике» и «деловым играм» (см., например, [6]), в которых несколько групп людей-участников, иг-

рающих в искусственно созданных лабораторных условиях роли разных, но взаимозависимых агентов (конкурирующих фирм, фирмы и банка, и т.д.), предлагают в интерактивном режиме свои варианты поведения, результаты которых анализируются ЭВМ на основе имитационных моделей данных агентов и сообщаются игрокам для выработки дальнейших решений. Экономические эксперименты позволяют исследовать влияние реальных механизмов принятия микроэкономических решений на динамику систем микроагентов в различных ситуациях. Однако в эволюционных моделях выработка решений игроками-людьми заменяется заданием в модели разнообразных механизмов принятия решений, основанным либо на анализе статистики или экспертных данных об используемых агентами в исследуемой части экономики моделях принятия решения, либо на создании широкого спектра моделей принятия решений, охватывающего все реально используемые и потенциально доступные агентам. Поэтому подобный подход позволяет избавиться от нерепрезентативности и специфичности охваченных исследованием норм поведения, порожденных ограниченностью числа привлеченных экспертов.

Эволюционное моделирование активно взаимодействует и со статистическим анализом данных выборочных исследований и опросов («социологии предприятий»). Обработка их результатов служит основой этапа создания информационного обеспечения эволюционной модели, отражающего ситуацию реальной системы предприятий. Однако анализ взаимосвязей между процессами поведенческих изменений и технологического развития и влияния на них условий среды на основе обработки модельных результатов, а не результатов непосредственного измерения (опросных исследований предприятий) обладает рядом преимуществ: с одной стороны, позволяет удалить или поставить под контроль влияние случайных факторов (т.е. создать «чистоту эксперимента»), а с другой – исследовать всё возможное многообразие будущих внешних условий, а не только реально имевшие место в прошлом. Концептуальное отличие эволюционного подхода заключается в его ориентированности не на максимально близкое воспроизведение линии развития структурно неизменной системы в рамках одних условий (т.е. выявление одного тренда развития), а на выявление характерных траекторий и особенностей развития системы в разных условиях, т.е. зарождения и распространения новых закономерностей и траекторий развития системы.

Необходимо также отметить, что эволюционные модели не противопоставляются традиционным моделям экономического равновесия, как аналитическими, так и вычислимыми (computable equilibrium, CE-model). Взаимоотношения данных подходов определяются признанием иерархичности экономических процессов: эволюционные модели изучают «медленные» процессы институциональной динамики, определяющие совокупность условий (доступные агентам знания, технологии, запасы ресурсов и т.д.) установления «быстрого» количественного, или ценового, равновесия. Так, в эволюционной модели для нахождения общего равновесия на группе исследуемых рынков (ресурсов, труда, конечного продукта, капитала и т.д.) может использоваться равновесный подход: на основе вычислительных процедур определяются ценовые и количественные (т.е. выпуск фирм, популяции и т.д.) параметры равновесия при том,

что функции индивидуального и отраслевого спроса и предложения на рынках определяются принятыми фирмами рутинами. Однако в эволюционных моделях за счёт включения в явной форме блоков, отражающих «стратегическую» динамику на микроуровне, учитывается, что формирование спроса и предложения на рынках, реальной рыночной структуры как в кратко-, так и в долгосрочной перспективе определяются принятыми действующими микроагентами стратегиями функционирования и развития, а также процессами изменения состава действующих субъектов и их стратегий.

3. МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭВОЛЮЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В настоящем разделе мы предложим ряд подходов к разработке эволюционной модели, позволяющей отразить свойства реальной системы предприятий и её внешней среды, а также пример их реализации для реальной системы производственных предприятий. Эволюционный модельный комплекс, нацеленный на анализ некоторой реальной популяции, должен объединять несколько элементов, создание которых является отдельными, но взаимосвязанными задачами.

1. Модель функциональной и поведенческой динамики предприятий популяции, позволяющая отражать взаимозависимость между соответствующими аспектами предприятия.
2. Условно-реальная стартовая модельная популяция, позволяющая отражать дифференциацию фирм исследуемой популяции по функциональным характеристикам и различия их стратегий поведения в начальный момент времени («начальное состояние эволюции»). Модельная популяция представляет собой набор параметризованных моделей отдельных предприятий, достаточный для репрезентативного отражения свойств реальной системы предприятий, т.е. разнообразия стратегий и производственных возможностей (доступных технологий) предприятий (причем как реально используемых агентами, так и потенциально им доступных).
3. Комплекс сценариев, позволяющий отражать возможные условия внешней среды (в т.ч. экономической политики государства) исследуемой популяции и содержащий различные наборы функции и параметров подсистем среды, влияние которых предполагается исследовать. В частности, в настоящей работе это параметры финансового рынка, рынка физического капитала (капитальные затраты на ввод единицы производственных мощностей), функции спроса на продукцию популяции, а также отражение налоговой системы, условий доступа на рынок конечного продукта. Для учета возможности появления новых участников популяции данный блок также должен включать «функцию входа», отражающую зависимость ожидаемого числа новичков и их свойств от результатов функционирования популяции.

Реализация модельного комплекса в виде программно-алгоритмического пакета позволяет в интерактивном режиме проводить вычислительные эксперименты с модельным комплексом и адаптировать его к условиям различных реальных популяций и разным вариантам их окружения.

3.1. Модель функциональной и поведенческой динамики популяции предприятий

Поскольку эволюционная модель является динамической многоагентной, то переменные, характеризующие состояние конкретного агента в конкретный момент, имеют двойную индексацию вида x_{it} , где первый ин-

декс характеризует номер агента в модели, второй – момент времени; переменные и функции, характеризующие состояние популяции в целом в конкретный момент, имеют индексацию времени.

Описанная ниже модель направлена на анализ эволюции финансово-инвестиционных стратегий предприятий, поэтому стратегия фирмы рассматривается как набор следующих *индивидуальных стратегических переменных*, присущих ей в данный момент времени:

- норма реинвестирования дохода фирмы – переменная q_{it} ;
- правило определения целевого уровня инвестирования, которое основано на предположении о стремлении каждой фирмы увеличивать объем инвестиций постоянным индивидуальным темпом k_{it} за период;
- пропорции распределения финансовых ресурсов фирмы между различными направлениями вложений (повышение технологического уровня, расширение и реновация основных фондов, переменные N_{it} , C_{it} , R_{it} соответственно).

Соответственно, модель отдельного предприятия включает следующие переменные, эндогенно определяемые в модели (для начального момента задаются исследователем в процессе параметризации стартовой модельной популяции).

1. Ресурсно-технологические и поведенческие характеристики фирмы, передаваемые из одной итерации модели в следующую (т.е. непосредственные характеристики динамики фирмы).

- Ресурсно-технологические характеристики:
 - величина основных фондов фирмы в момент t – переменная K_{it} ;
 - производительность (капиталоотдача) единицы основных фондов фирмы в момент t – переменная f_{it} .
- Поведенческие характеристики:
 - доля реинвестирования чистой прибыли и желаемый темп роста инвестиций – переменные q_{it} и k_{it} соответственно;
 - пропорции распределения инвестиционных ресурсов между расширением основных фондов (переменная C_{it}), их реновацией (переменная R_{it}) и освоением новых продуктов и технологий (переменная N_{it}).

2. Переменные, характеризующие функционирование фирмы и служащие для определения переменных пункта 1:

- величина фактического выпуска фирмы в момент t – переменная Q_{it} ;
- величина операционного дохода и прибыли фирмы – переменные R_{it} и NP_{it} соответственно;
- средняя рентабельность капитала фирмы – переменная AP_{it} ;
- величина привлекаемого фирмой кредита – переменная L_{it} ;
- величина финансовых ресурсов фирмы – переменная FR_{it} ;
- величины инвестиций в инновации, расширение и реновацию основных фондов – переменные I_{it} , IC_{it} , IR_{it} , соответственно.

Для отражения общей для всех фирм внешней среды экзогенно задаётся ряд функций, описывающих условия различных подсистем среды.

- Функция спроса на производимый популяцией продукт $AD(p, t)$ в данный момент t , позволяющая найти равновесие рынка продукта (т.е. индекс цены $p(t)$ при данном предложении популяции $AS(p, t)$. В настоящей работе на основе результатов статистического исследования помесичных данных по потреблению хлебобулочных изделий по г. Москве за 1996-2000 гг. и индексам цен на данную товарную группу был выбран линейно-логарифмический вид функции спроса:

$$\log (AD(p, t)) = \log c_1(t) - c_2 \log P(t) ,$$

где

$c_1(t)$ – параметр масштаба спроса;

c_2 – параметр эластичности спроса (оценка параметра эластичности спроса $|c_2| = |\varepsilon_D| = 0.36$);

параметр масштаба определяется соотношением

$$c_1(t) = k * c_1(t-1) ,$$

где

k – экзогенный параметр, отражающий динамику ёмкости рынка (расширение или падение).

- Функция предложения физического капитала $ASC (ADC, t)$, отражающая изменение капитальных затрат фирмы на ввод единицы производственных мощностей при изменении совокупного спроса популяции на физический капитал (ADC).

Для отражения доступных технологических способов и широкого спектра возможных путей развития предприятия в модели экзогенно определяется ряд функций, описывающих зависимость динамики ресурсно-технологических переменных от инвестиций в различные направления. При этом в данной работе предполагается единый для всех фирм популяции вид всех функций, что предполагает структурное единообразие фирм. Однако если фирмы популяции обладают существенно различными технологическими или рыночными возможностями, то описывающие соответствующие аспекты функции могут задаваться индивидуально для однородных групп фирм: например, если для различных технологий отдача от вложения ресурсов существенно различается, то могут использоваться различные виды производственной функции.

- Производственная функция отражает зависимость потенциального выпуска фирмы в ценах базового периода от величины и производительности её основных фондов. Использована линейная функция вида $Q = K * f$.
- Функция издержек $Fc(IIC)$, отражающая зависимость удельных переменных издержек на единицу (один рубль) выпуска в ценах базового периода (переменная c_{it}) от кумулятивных инвестиций фирмы в повышение технологического уровня (IIC_{it}). На основе статистических и экспертных данных была построена кусочно-постоянная функция, отражающая издержки при различных доступных фирмам технологических способах.
- Функция реновации Fr определяет зависимость среднего срока службы основных фондов от удельных (на единицу капитала) затрат на реновацию в данный период. На основе экспертных и статистических данных был выбран логистический вид функции реновации, предполагающий ограниченность максимально возможных сроков службы основных фондов.

- Функция инновации Fn определяет зависимость производительности основных фондов фирмы (т.е. стоимости продукции, производимой единицей фондов, относительно базового уровня) от кумулятивных затрат на инновацию.

На рис. 2 приведена структурная блок-схема одной итерации модельного комплекса, характеризующая экономическое содержание отдельных блоков, последовательность их реализации и взаимодействие между блоками модели, которое осуществляется через передачу в соответствии с блок-схемой соответствующих переменных и функций. Блок-схема характеризует также содержание взаимодействия популяции с подсистемами её внешней среды, отражёнными в модели.

При этом для удобства восприятия в блок-схеме выделены одинарными линиями и обозначены буквой Φ блоки, относящиеся к отдельному предприятию; двойными линиями и буквой Π – к популяции в целом; блоки, описывающие функционирование рынков, выделены тройными линиями и обозначены буквой P .



Рис. 2. Структурная блок-схема итерации модельного комплекса

Отметим, что описанная модель является замкнутой, т.е. позволяет определить динамику всех отражённых в ней поведенческих и производственных характеристик фирм.

Выбор единичного периода моделирования (модельного «атома» времени) ограничен факторами как экономической специфики функционирования данной популяции, так и возможности параметризации модели по имеющимся данным. К факторам ресурсно-технологической экономической специфики относятся: (а) вытекающая из контрактного характера отношений фирмы с поставщиками и работниками сложность наращивания запасов ресурсов ранее определённого периода с момента принятия решения, что должно находить отражение в модели через лаговость формирования запасов труда и некоторых видов сырья, и (б) возможное наличие временных трендов в процессах во внешней среде популяции (в спросе на конечный продукт, предложении ресурсов и т.д.). К факторам институциональной экономической специфики относится существование в каждой популяции некоторого «характерного времени» оценки агентами своего положения и пересмотра стратегий поведения, определяемого структурой собственности, отраслевой спецификой инвестиционных процессов и т.д. Статистические ограничения определены периодичностью отчётности, на основании которой проводится параметризация. Так, в настоящей работе с учётом вышеизложенных факторов «атом» времени принят соответствующим календарному кварталу.

Ниже описаны соотношения блоков одной итерации модели (т.е. расчётов для одного момента времени t) для каждой из фирм, функционирующих в данный момент в популяции.

Блок «Текущие производственные решения фирм» ($\Phi.I.$) состоит из соотношений, описывающих процессы принятия фирмами решений об уровне загрузки производственных мощностей на основе индивидуальной товарно-рыночной стратегии (переменная $r_{it}(p)$). В базовой модификации модели предполагается единообразие товарно-рыночной стратегии всех фирм: при определении своего текущего предложения в каждый период времени фирмы ориентированы на полную загрузку производственных мощностей, безубыточных при данном уровне цен конечной продукции (p):

$$r_{it} = 1, \text{ если } p - c_{it} > 0;$$

$$r_{it} = 0, \text{ если } p - c_{it} \leq 0.$$

При этом величина переменных издержек (c_{it}) определяется соотношением

$$c_{it} = Fc(II C_{it}),$$

где $Fc(II C_{it})$ – функция издержек.

Блок «Формирование агрегированного предложения популяции» ($PI.$). Функция предложения $IS_{it}(p)$ i -й фирмы в момент t определяется соотношением:

$$IS_{it}(p) = r_{it}(p) f_{it} K_{it},$$

где K_{it} и f_{it} – объём основных фондов i -й фирмы и их производительность (руб. на одну единицу фондов) в момент t соответственно (т.е. величина $f_{it} K_{it}$ есть потенциальный выпуск фирмы в ценах продукта базового периода).

В предположении однородности рынка конечного продукта в каждый момент времени t функция совокупного предложения популяции $AS(p, t)$ есть сумма функций индивидуального предложения фирм популяции:

$$AS(p, t) = \sum_i IS_{it}(p).$$

Блок «Равновесный рынок конечного продукта» ($PI.$) содержит уравнение равновесия на рынке конечного продукта, численное решение которого позволяет найти значение параметра $P(t)$ «индекс цены продукта в момент t по отношению к базовому периоду»:

$$AS(p, t) = AD(p, t),$$

где

$AD(p, t)$ – функция спроса на производимый популяцией продукт.

Блок «Выпуск продукции и формирование финансовых результатов фирм» ($\Phi.II.$) содержит соотношения, определяющие объём выпуска (Q_{it}), операционного дохода (R_{it}), налогооблагаемой прибыли (PR_{it}) и чистой прибыли (NP_{it}) фирм. Ниже приведён вариант блока, отражающий стандартную систему налогообложения предприятия:

$$Q_{it} = IS(P(t)) = r_{it}(P(t)) f_{it} K_{it};$$

$$R_{it} = (P(t) - c_{it}) Q_{it} = ((P(t) - c_{it})) r_{it}(P(t)) f_{it} K_{it};$$

$$NP_{it} = R_{it} - rI D_{it} - ((PTax + \theta_{it}) K_{it} + CTax PR_{it}) - L_{it}.$$

где rI , τ , $CTax$ и $PTax$ – экзогенные параметры, отражающие финансовый рынок и налогообложение предприятия (см. ниже);

параметр θ_{it} отражает различные индивидуальные постоянные составляющие издержек фирмы (оплата наёмного труда и т.д.), которые принимаются косвенно привязанными к объёму основных фондов фирмы;

L_{it} – накопленные фирмой убытки прошлых периодов (в базовой модификации данного блока предполагается, что фирма может накапливать долги по налоговым, кредитным и иным платежам в виде кредиторской задолженности).

Блок «Привлечение внешнего финансирования и формирование инвестиционных ресурсов фирм» ($\Phi.IV.$) содержит подблок $\Phi.III.$, отражающий определение величины кредита, который фирма желает привлечь в данный момент t , основанный на предположении, что каждая фирма планирует наращивать объём инвестиций индивидуальным темпом g_i за период:

$$LD_{it} = (1 + g_i) FR_{i,t-1} - (1 - q_{i,t}) NP_{i,t}, \text{ если}$$

$$NP_{i,t} \geq 0;$$

$$LD_{it} = (1 + g_i) FR_{i,t-1}, \text{ если } NP_{i,t} < 0.$$

Величина доступного фирме кредита LA_{it} пропорциональна стоимости необременённого имущества фирмы и определяется соотношением:

$$LA_{it} = \phi V_{i,t}, \text{ если } V_{i,t} > 0;$$

$$LA_{it} = 0, \text{ если } V_{i,t} \leq 0,$$

где

ϕ – экзогенный параметр финансового рынка, отражающий лимит доступного банковского кредитования;

$V_{i,t}$ – текущая оценка залогопригодного имущества фирмы.

Тогда привлекаемый i -й фирмой в момент t кредит $V_{i,t}$ определяется соотношением

$$D_{it} = \min \{ LA_{it}, LD_{it} \}.$$

Формирование инвестиционных ресурсов фирмы $FR_{i,t}$ отражается соотношением

$$FR_{i,t} = (1 - q_{it}) NP_{it} + D_{it}, \text{ если } NP_{it} > 0;$$

$$FR_{i,t} = D_{it}, \text{ если } NP_{it} \leq 0,$$

т.е. инвестиционные ресурсы фирмы есть сумма реинвестированной части прибыли и привлечённых средств.

Блок «Инвестиционные решения фирм» ($\Phi.V.$) содержит соотношения, отражающие распределение фирмами инвестиционных ресурсов между различными направлениями вложений (в повышение технологического уровня ($II_{i,t}$), реновацию ($IR_{i,t}$) и расширение основных фондов ($IC_{i,t}$)) на основе принятых ими поведенческих параметров:

$$II_{i,t} = N_{it} FR_{it};$$

$$IC_{i,t} = C_{it} FR_{it};$$

$$IR_{i,t} = R_{it} FR_{it}.$$

Изменение величины кумулятивных инвестиций фирмы в повышение технологического уровня ($II_{i,t}$) отражается соотношением:

$$II_{i,t} = II_{i,t-1} + II_{i,t} .$$

Блок «Рынок капитала» ($P.II.$) содержит подблок $П.II.$, отражающий формирование совокупного спроса популяции на капитал $ADC(t)$ как суммы инвестиций фирм в расширение основных фондов, и уравнение равновесия на рынке капитала, решение которого позволяет найти значение параметра $PK(t)$ «цена единицы капитала в момент t »:

$$ADC(t) = \sum_i IC_{it} ;$$

$$ADC(t) = ASC(p, t) ,$$

где $ASC(p, t)$ – функция предложения капитала.

Блок «Результаты инвестирования фирм» ($\Phi.VI.$) содержит соотношения, отражающие ресурсно-технологическую динамику фирм. Производительность основных фондов i -й фирмы в момент $t+1$ ($f_{i,t+1}$) определяется соотношением:

$$f_{i,t+1} = Fn(II_{i,t+1}) ,$$

где $Fn(II)$ – функция инновации.

Темп выбытия функционирующих основных фондов (δK_{it}) определяется соотношением:

$$dK_{it} = 1 / Fr(IR_{it}) ,$$

где Fr – функция реновации. Приобретение фирмой новых основных фондов (в объеме ΔK_{it}) отражается соотношением:

$$\Delta K_{it} = \frac{IC_{it}}{PK(t)} .$$

Результирующее значение объема основных фондов i -й фирмой в момент $t+1$ (K_{it+1}) определяется соотношением:

$$K_{it+1} = (1 - \delta K_{it}) K_{it} + \Delta K_{it} .$$

Блок «Принятие фирмами решений о смене стратегий или выходе из популяции» ($\Phi.VII.$) содержит соотношения, отражающие принятие фирмами решения о выходе из популяции (переменная $E_{it} = 1$) или продолжении функционирования (переменная $E_{it} = 0$), а также о смене поведенческих установок фирмы (переменная $C_{it} = 1$) или продолжении использования текущих установок (переменная $C_{it} = 0$).

Модификация 1 данного Блока отражает сценарий внутренней среды «Непрозрачная популяция» (см. ниже), предполагающий недоступность фирмам информации относительно результатов функционирования других фирм: предполагается, что функционирующие фирмы имеют возможность адаптироваться исключительно путём выхода из популяции, если их рентабельность капитала (AR_{it}) за четыре модельных периода (что соответствует одному календарному году) ниже критического уровня – требуемой фирмой доходности, которая предполагается равной доходности финансового рынка (отражаемой величиной цены кре-

дитования rl), скорректированной показатель требуемой премии ρ . При этом поведенческие параметры продолжающих функционировать в популяции фирм остаются неизменными:

$E_{it} = 1$, если $K_{it+1} < \varepsilon$ или $AR_{it+1} < \rho * rl$ (ε – близкий к нулю параметр);

$E_{it} = 0$, в иных ситуациях.

$K_{it+1} = K_{it}$, если $E_{it} = 0$;

$K_{it+1} = 0$, если $E_{it} = 1$.

$q_{it+1} = q_{it}$.

$N_{it+1} = N_{it}$.

$R_{it+1} = R_{it}$.

$C_{it+1} = C_{it}$.

Модификация 2 Блока отражает сценарий внутренней среды «Прозрачная популяция», предполагающий, что все фирмы имеют доступ к информации относительно результатов функционирования других фирм и при принятии решения о смене поведенческих установок при выборе новых значений копируют наиболее рентабельную фирму популяции:

$E_{it} = 1$, если $K_{it+1} < \varepsilon$ (ε – близкий к нулю параметр);

$E_{it} = 0$, в противном случае.

$C_{it} = 1$, если $AR_{it} < \rho * rl$;

$C_{it} = 0$, в противном случае.

$K_{it+1} = K_{it}$, если $E_{it} = 0$;

$K_{it+1} = 0$, если $E_{it} = 1$.

$q_{it+1} = q_{it}$, если $C_{it} = 0$;

$q_{it+1} = q_{Bt}$, если $C_{it} = 1$.

(Другие поведенческие переменные фирм изменяются аналогичным переменной q образом; B_t – индекс фирмы – «ориентира» (по предположению, наиболее рентабельной в популяции)).

Блок «Вход в популяцию новых фирм» ($П.III.$) присутствует только в модификациях модельного комплекса, отражающих сценарий «Открытая популяция», и определяет ресурсно-технологические и поведенческие характеристики фирмы – «новичка», динамика которой начиная со следующего момента модельного времени $t+1$ определяются приведёнными выше блоками (т.е. в модели рассматривается вариант расширения состава исследуемой популяции через вхождение малых предприятий с интенсивностью, соответствующей вхождению в модельную популяцию одного участника за один момент модельного времени):

$$N_Firms_{t+1} = N_Firms_t + 1 .$$

$$f_{\text{Новая фирма}, t+1} = Sf .$$

$$K_{\text{Новая фирма}, t+1} = SK .$$

$$q_{\text{Новая фирма}, t+1} = q_{B_t, t} .$$

$$N_{\text{Новая фирма}, t+1} = N_{B_t, t} .$$

$$R_{\text{Новая фирма}, t+1} = R_{B_t, t} .$$

$$C_{\text{Новая фирма}, t+1} = C_{B_t, t} ,$$

где SK и Sf – соответственно начальный объём основных фондов и уровень производительности

«стандартного» малого предприятия (т.е. в модели предполагается, что в каждый момент модельного времени в популяцию входит строго одна новая фирма, и «стартовые» значения переменных f и K полагаются едиными для всех фирм – «новичков»).

Соответственно, в модификации данного Блока, отражающей сценарий «Непрозрачная популяция», фирмой – «ориентиром» для фирмы – «новичка» является наиболее крупная в данный момент фирма популяции:

$$B_t = j : K_{jt} = \max_i \{K_{it}\}$$

в модификации Блока, отражающей сценарий «Прозрачная популяция», фирмой – «ориентиром» для фирмы – «новичка» служит наиболее рентабельная фирма: $B_t = j : AR_{jt} = \max_i \{AR_{it}\}$.

3.2. Методология формирования модельной популяции фирм

Отражение в модели функционирования всех предприятий исследуемой совокупности, с одной стороны, не является возможным по причинам технического характера (отсутствие полной и достоверной и достоверной информации обо всех агентах популяции, вычислительная сложность модели); с другой – не является необходимым, т.к. удастся отразить закономерности эволюции всей совокупности на основе моделирования динамики условно-реальной модельной популяции предприятий, сформированной на основе реальных данных и репрезентативно отражающей исходную совокупность. Этап формирования модельной популяции является наиболее сложным в построении модельного комплекса.

Поскольку данные о поведенческих характеристиках фирм невозможно получить из регулярной статистики ни напрямую, ни косвенными методами, то для формирования модельной популяции необходима аналитическая обработка и экспертное дополнение данных периодических социологических исследований (опросов) предприятий. Это позволяет выделить характерные для выбранной реальной популяции «стратегические типы» предприятий и определить исходное распределение агентов по различным «стратегическим типам». При этом определение диапазонов характерных значений поведенческих переменных предприятий для каждого из выделенных типов должно осуществляться с привлечением экспертных оценок с последующим уточнением в процессе «отладочных» расчётов по модели. Основная слабость этапа выделения «стратегических типов» предприятий связана со сложностью определения чётких количественных критериев для классификации предприятий по стратегиям, поскольку подобное выделение проводится на основе результатов опросов, которые предполагают преимущественно качественные вопросы и характеристики и не всегда методологически согласованы. Преимуществами подобного способа структуризации пространства стратегий предприятия через цепочку: «предприятие → стратегический тип → поведенческие переменные» по сравнению с традиционно используемыми способами структуризации непосредственно через определение поведенческих переменных («предприятие → его поведенческие переменные») или через исключительно качественное определение профиля стратегий предприятия («предприятие → его стратегический тип») являются возможность, с одной стороны, привлекать при параметризации модели качественные характеристики и оценки, в

т.ч. и экспертные, и интерпретировать модельные результаты в терминах качественных типов стратегий, а с другой – получать выводы, более устойчивые к незначительным изменениям параметров внешней среды. В то же время параметризация соотношений, отражающих ресурсно-технологические аспекты, возможна на основе эконометрической обработки данных регулярной статистики по объёмам выпуска, величине основных фондов, производственным издержкам.

Процедура формирования модельной популяции основана на сопоставлении статистических и опросных данных по различным группам предприятий, что позволяет построить таблицы сопряженности поведенческих и ресурсно-технологических (численность занятых, размер и средний возраст основных фондов) характеристик предприятий. Выбор значения начального числа фирм модельной популяции (N_Firms_0) основан на

двух критериях: адекватность модели и вычислительная сложность модели. Основным критерием определения начального размера модельной популяции N_Firms_0 является необходимость достаточно репрезентативного отражения в модели всех выделенных стратегических типов предприятий (в том числе наименее распространенных), которое позволит элиминировать воздействие специфических факторов (ошибки параметризации модели и т.д.) и получить адекватное отражение динамики предприятий различных типов. Вторым критерием выбора значения N_Firms_0 является вычислительная сложность параметризованной модели, возрастающая с увеличением N_Firms_0 .

Очевидно, данные критерии находятся в противоречии: с ростом N_Firms_0 одновременно увеличиваются как возможность более адекватного отражения реальной популяции в модельной, так и вычислительная сложность. Например, для условий реальной популяции, по которой проводилось построение модельной популяции, было выбрано значение $N_Firms_0 = 120$ агентов.

Отметим, что разделение «физического» и «стратегического» аспектов необходимо в силу слабой методологической согласованности регулярной статистики и социологических исследований предприятий: традиционно при проведении исследований по вопросам поведения предприятий крайне слабо отражается функциональный аспект, который, как правило, ограничивается вопросами о размере предприятия. Это позволяет получить данные только о распределении различных по размерам предприятий реальной популяции по «стратегическим типам».

В общем виде процедура формирования стартовой модельной популяции заключается в определении числа фирм каждого типа в модельной популяции и генерация последовательности соответствующей длины случайных чисел с законами распределения, соответствующими построенным эмпирическим функциям распределения фирм. Однако в целях снижения размера модельной популяции и, соответственно, вычислительной сложности модели возможна корректировка её структуры: величина N_Firms_0 снижается, однако добавляется условие, что число фирм каждого типа должно быть не менее определенной критической величины (n_min). Подобная корректировка может осуществляться только в ходе «отладочных» расчётов, позво-

ляющих определить пороговое значение n_{min} , достаточное для отражения качественных различий возможных траекторий эволюции популяции в целом (т.е., например, сохранится число различных носителей каждого «стратегического типа», достаточное для нивелирования воздействия случайных факторов на динамику данного типа). Замена в модельной популяции нескольких, возможно, различных агентов одним, репрезентирующим их, возможна при соблюдении двух условий:

1. Сохраняется отражение поведенческого различия агентов, определяющего качественные свойства эволюции популяции в целом;
2. Функциональные процессы в популяции не изменяются при замене нескольких агентов одним, «физические» характеристики которого эквивалентны суммарным характеристикам исходных агентов (т.е., например, траектория цен не изменится при замене в модели нескольких малых предприятий одним средним).

Соответственно, число фирм, представляющих в стартовой модельной популяции каждую возможную комбинацию «физический тип» предприятия – «стратегический тип» предприятия, определяется следующим образом (очевидно, при принятом выделении «физических» и «стратегических» типов существует 18 типов предприятия реальной популяции: «малая фирма – активный инноватор», «малая фирма – органический инноватор» и т.д.):

$$n_{ij} = \max \{d'_i * d''_j * N_{Firms_0}, n_{min}\},$$

где

d'_i – доля фирм i -о «физического типа» среди всех фирм реальной популяции;

d''_j – доля фирм j -о «стратегического типа» среди всех фирм i -о «физического типа» в реальной популяции.

Интерполяционные расчёты с построенной выше моделью показывают, что для репрезентативного отражения модели динамики относительной распространённости различных «стратегических типов» среди различных «физических типов» предприятий исследуемой популяции является достаточным наличие в модельной популяции 4-5 различных по «физическим» показателям агентов, представляющих наименее распространённый в популяции стратегический тип; и значение параметра n_{min} может быть взято равным соответствующим величинам.

Процедура создания начальной модельной популяции, которая позволяет отразить ситуацию конкретной системы предприятий, включает следующие этапы.

На первом этапе на основе имеющейся обучающей выборки строится распределение фирм исследуемой реальной совокупности по функциональным характеристикам (например, в случае предложенной модели – численность промышленно-производственного персонала, объём основных фондов и их производительность), устанавливаются критерии выделения «физических типов предприятий» и определяется доля в реальной популяции фирм различных «физических» типов. В данном случае «физические типы» и критерий отнесения к ним был выбран из содержательных соображений: необходимость установить соответствие с делением фирм в имеющихся социологических исследованиях. Соответственно были выделены следующие «физические типы»:

- «малое предприятие» с численностью занятых (а именно производственно-промышленного персонала) до 100 чел. – доля в обучающей выборочной популяции составляет 49.4%;
- «среднее предприятие» с численностью занятых от 100 до 300 чел. – доля в обучающей выборочной популяции 25.8% ;
- «крупное предприятие» с численностью занятых свыше 300 чел. - доля в обучающей выборочной популяции составляет 24.7% .

Следующим этапом является определение распространённости различных «стратегических типов» среди предприятий различных «физических типов». Отметим, что предложить единую и строго формализованную процедуру выделения «стратегических типов» предприятий невозможно, поскольку подобное выделение связано как с априорными исследовательскими целями (например, исследование того или иного аспекта функционирования популяции), так и, пониманием специфики популяции, получаемым в ходе её исследования и моделирования (например, существенное влияние на популяцию параметров того или иного рынка может требовать отдельного отражения стратегий поведения фирм на данном рынке). Однако можно выделить основные подходы к «стратегической типологизации» фирм популяции. *Многокритериальное выделение* «стратегических типов» предприятий, развиваемое, например, в [17], основано на анализе стратегий поведения фирм в основных функциональных сферах по отдельности (что подразумевает обособленное рассмотрение каждой функциональной стратегии фирмы) и выделении «характерных» типов каждой стратегии. Соответственно, совокупность «стратегических типов» предприятий представляется как набор всех возможных комбинаций «характерных типов» отдельных функциональных стратегий. К основным слабостям данного подхода следует отнести слабый учёт взаимосвязей отдельных функциональных стратегий, вытекающих из системности организационных процессов. Одним из путей решения данной проблемы является *монокритериальное выделение* «стратегических типов», базирующееся на использовании в качестве единого типологизирующего критерия *основной стратегической доминанты*, в соответствии с которой эволюционно, путем проб и ошибок выстраиваются все функциональные стратегии предприятия. Более того, выделение доминантного фактора, на который делает упор предприятие в своем функционировании и развитии, целесообразно ещё и в силу отмечаемой практическими исследованиями, характерной для большинства предприятий «однобокости» стратегий. Подобное выделение позволяет комплексно характеризовать свойства основных функциональных видов стратегий предприятия. Однако, как показывает анализ опросов предприятий разных отраслей промышленности, в каждой конкретной популяции иерархия стратегических доминант индивидуальна: приоритетное направление вложений средств, ориентация на определённые рынки, ориентация на встраивание в определённые интеграционные объединения и т.д. Основной слабостью данного подхода является именно затруднительность адекватного отражения разнообразия поведения предприятия во всех сферах функционирования популяции на основе единственной стратегической доминанты, поскольку в силу сложных взаимосвязей организационных процессов затруднено определение внешним наблюдателем значимости отдельных функциональных стратегий для функционирования предприятия.

При разработке настоящей модели в качестве критериев выделения «стратегических типов» предприятий популяции были выбраны активность (активный тип, ориентированный на рост инвестиций за счёт привлечения внешнего финансирования, и органический тип, ориентированный на развитие за счёт собственных ресурсов) и характер (экспансионистский тип, ориентированный на рост производственных мощностей; инновационный, ориентированный на увеличение производительности имеющихся фондов и снижение издержек за счёт освоения новых процессов; «самосохранительный тип», ориентированный на поддержание имеющихся фондов) инвестиционной деятельности предприятия. Выделение «стратегических типов» на основе подобного критерия позволяет, с одной стороны, достаточно адекватно, по крайней мере на качественном уровне, отразить характер основных функциональных стратегий предприятия, а с другой – сформировать сжатое описание стратегии предприятия и использовать характеристики предприятия, которые возможно облечь в строгую количественную форму. Выделенные «стратегические типы» и распределение предприятий различных размеров по этим типам приведено в табл. 1.

Таблица 1

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП ПО СТРАТЕГИЧЕСКИМ ТИПАМ

Стратегический тип	Малая фирма	Средняя фирма	Крупная фирма
«Активный экспансионист»	24.8	12.8	14.8
«Органический экспансионист»	37.9	32.4	30.1
«Активный инноватор»	2.8	4.3	4.0
«Органический инноватор»	5.2	5.8	4.6
«Защитник»	18.2	30.2	32.7
«Аутсайдер»	11.1	14.5	13.8

На следующем этапе – параметризации начальных значений ресурсно-технологических характеристик фирм каждого типа (в данном случае – переменных $f_{i,0}$ и $K_{i,0}$) – строятся эмпирические функции распределения фирм различных выделенных «физических типов» (в данном случае – малых, средних и крупных предприятий) по интересующим характеристикам (в данном случае – величине реализованной продукции на единицу основных фондов относительно среднего для данного типа уровня и величине основных фондов). Непосредственно параметризация «физических» параметров фирм основана на генерации последовательности случайных чисел с законами распределения, соответствующими выбранным для данного «физического типа» эмпирическим функциям. В частности, в настоящем исследовании параметризация «поведенческих» параметров (переменных $q_{i,0}$, $k_{i,0}$, $N_{i,0}$, $C_{i,0}$) фирм также основана на генерации последовательности случайных чисел, при этом принималась предпосылка о равномерности распределения на интервале характерных для данного «стратегического типа» значений соответствующей переменной. При этом начальное значение переменной $I_{i,t}$ устанавливалось равным для всех фирм каждого «стратегического типа» для всех моментов времени: для фирм-инноваторов значение было взято в области наименьших значений данного параметра в «обучающей выборке»; для фирм – «экспансионистов» – в области

средних значений данного параметра в «обучающей выборке»; для фирм-«защитников» и «аутсайдеров» – в области наибольших значений данного параметра в «обучающей выборке». Значения параметров g и ρ устанавливались экспертным путём и корректировались по результатам интерполяционных расчётов таким образом, чтобы интенсивность выбытия фирм и смены ими стратегий в наибольшей степени согласовывалась с экспертными оценками данных процессов в реальной популяции. При этом параметры фирм – «новичков» S_f и S_K принимались равными средним значениям соответствующих переменных среди малых фирм.

Соответственно, исходные статистические данные для формирования модельной популяции представлены двумя группами:

- данные по различным группам предприятий популяции (в данном случае, предприятий г. Москвы, производящих хлебобулочные изделия) о величине основных фондов, численности занятых, объёме и структуре выпущенной продукции, удельных издержках, а также привлечении и использовании средств (а также, возможно, других функциональных характеристик, отражённых в модели предприятия) составляют «обучающую выборку» для параметризации ресурсно-технологических аспектов модельной популяции;
- данные опросов различных групп предприятий популяции (в данном случае имелись только данные по более широкой совокупности предприятий пищевой промышленности г. Москвы) о планируемых в будущем стратегических действиях, целях и желательных направлениях развития производства составляют «обучающую выборку» для выделения «стратегических типов предприятий» и параметризации поведенческих аспектов модельной популяции.

Проверка адекватности параметризованной модели может проводиться традиционным образом: на основе оценки степени близости реальных и модельных данных, а именно макропоказателей (агрегированный объём производства популяции, совокупная величина основных фондов фирм, совокупная численность занятых) модельной популяции и отражаемой ею реальной популяции в некоторые моменты времени. Однако вследствие того, что разные исходные структуры популяции (т.е. распределения фирм по функциональным и поведенческим характеристикам) могут во многих условиях среды порождать сходную динамику макропоказателей, предложенная процедура позволяет установить лишь определенное множество допустимых модельных популяций, статистически согласующихся с имеющимися данными и обеспечивающих приемлемое качество. Поэтому окончательное формирование модельной популяции должно осуществляться путём экспертного выбора наиболее адекватного варианта из статистически непротиворечивых и/или на основе дополнительных содержательных соотношений. В частности, в настоящей работе в качестве данного содержательного критерия выбора был взят диапазон разброса стартовых значений поведенческих параметров фирм (т.е. выбрана популяция с наибольшими диапазонами). Подобный критерий обеспечивает задание в модели наиболее широкого «поля альтернатив» для действия механизмов отбора и компенсировать отсутствие отражения в модели «мутации генофонда популяции», т.е. появление фирм с новыми стратегиями поведения и поведенческими переменными. Основная проблема оценки качества построенной популяции связана с тем, что по сути оценивается качество комплекса «структурная форма модели + модельная популяция», а оценка на

основе подобного метода «качества» компонент комплекса по отдельности является значительно более сложной задачей и в методологическом плане, и в вычислительном плане.

При этом поскольку предложенная методика формирования переменных фирм начальной модельной популяции предполагает генерацию последовательности случайных чисел, то одним из необходимых этапов «разведывательного анализа» модели является проведение расчётов с различными вариантами начальной популяции, подтверждающих, что «стратегические» результаты и качественные выводы слабо чувствительны к свойствам конкретной начальной модельной популяции, построенной на основе подобной методики.

Противоположный результат означает, что существуют варианты структуры популяции (например, наличие одной или нескольких очень крупных фирм), порождающие качественно отличные от других результаты (например, скатывание популяции к монополюльной или олигополюльной структуре) и требующие отдельного исследования.

3.3. Методология формирования «матрицы сценариев» внешней среды популяции

Отражение в рамках модельного комплекса различных подсистем внешней среды популяции допускает два подхода.

1. Рассмотрение динамики определённой подсистемы среды как не зависящей от популяции, т.е. независимость изменения среды от изменения поведенческих или функциональных свойств популяции, при котором в модели отражаются только прямые связи «подсистема среды → популяция».
2. Рассмотрение взаимовлияния динамики популяции и подсистем её среды, т.е. отражение как прямых, так и обратных связей «популяция → среда» и процессов взаимной подстройки. Так, в работе [28] исследовалась модель, в которой агенты финансового сектора в процессе эволюции адаптировали новые формы взаимодействия с фирмами популяции. Подобный подход, с одной стороны, позволяет изучать процессы совместного развития смежных популяции, но с другой – существенно усложняет модельный комплекс и, соответственно, его надёжную параметризацию.

Поэтому наиболее продуктивным для прикладного эволюционного моделирования представляется первый подход, реализованный в виде сценарного анализа модели (см., напр., [14]). В развитие данного подхода в настоящей работе предлагается метод комплексных сценариев, сочетающих отражение как возможных изменений внешней среды популяции, так и её внутренних характеристик. Отметим, что сценарии отражают *экзогенно обусловленные изменения* в результате внешнего воздействия со стороны саморегуляции бизнеса, экономической политики или общеэкономических тенденций, т.е. изменения внешних условий внутривнутрипопуляционных процессов. Таким образом, сочетание в комплексном сценарии двух элементов: **«состояние внешней среды популяции + состояние внутренней структуры популяции»** – порождает матричную структуру сценариев. Подобная «матрица сценариев» позволяет, с одной стороны, изучать влияние внешней среды системы на её развитие как при локальных изменениях отдельных факторов, так и при качественной трансформации целых частей внешней среды системы. С другой стороны, матричный подход к формированию сценариев позволяет анализировать взаимовлияние факторов внешней сре-

ды и факторов внутренних структурных изменений и делать на основе данного анализа выводы относительно «возможностей замещения», т.е. компенсации внешних изменений внутренними, и наоборот.

Матрица сценариев позволяет, к примеру, оценить сравнительную эффективность усиления внешнего давления на предприятия (повышение эластичности спроса, ужесточение налогового пресса и т.д.) и расширения входа в популяцию предприятий-новичков.

Основное преимущество метода комплексных сценариев заключается в его реализации на основе не только параметрической, но и *частичной структурной модификации модельного комплекса*, т.е. видоизменения отдельных блоков и соотношений модельного комплекса. Это позволяет проводить анализ не только количественно, но и качественно различных вариантов внешней и внутренней среды популяции, т.е. *дискретных качественных изменений* популяции и её среды. Например, становится возможным изучать не только изменения величины налоговых ставок, но и системы налогообложения в целом (как введение упрощённой или патентной системы налогообложения): для данного случая *частичная структурная модификация* заключается во включении в модель блока «Выпуск продукции и формирование финансовых результатов фирм», отражающего ту или иную налоговую систему, при неизменности других блоков.

Поскольку в данной работе отражены три основные подсистемы среды (рынки конечного продукта и внешнего финансирования, налоговая система), то были сформированы восемь альтернативных сценариев среды. Задействованные в сценариях внешней среды экзогенные параметры модели и сформированные сценарии каждой из подсистем отражены в табл. 2.

При этом значения параметров сценариев могут задаваться разными способами: например, путём осреднения ответов экспертов на вопрос о минимальном возможном и максимальном возможном уровнях, в пределах которых с некоторой вероятностью могут изменяться параметры в среднесрочной перспективе.

Таблица 2

ОПИСАНИЕ ПОДСИСТЕМ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ В МОДЕЛИ

Налоговая система	Финансовый рынок	Рынок конечного продукта
1) Параметры налоговой системы в модели	1) Параметры финансового рынка в модели	1) Параметры рынка продукта в модели
STax [%] - ставка налога на прибыль предприятия PTax [%] - ставка налога на имущество предприятия	τ [моментов времени] - срочность кредитования rl [%] - ставка (цена) кредитования ϕ [%] - лимит кредитования относительно имущества предприятия	k – коэффициент динамики ёмкости рынка
2) Сценарии характера налоговой системы	2) Сценарии характера финансового рынка	2) Сценарии рынка продукта
1.х.х. «жёсткая» 2.х.х. «мягкая»	х.1.х. «ограничительный» х.2.х. «стимулирующий»	х.х.1. «стагнирующий» х.х.2. «расширяющийся»

Для отражения возможностей изменения внутривнутрипопуляционной среды модельный комплекс модифици-

руется путём расширения, т.е. введения новых блоков, или модификации отдельных существующих блоков. Так, в настоящей работе отражены два возможных типа трансформации структуры популяции (заметим, что они не исключают друг друга).

1. Интенсификация «входа» в популяцию за счёт, например, выработки саморегулируемыми организациями «типовых проектов» малого предприятия, упрощающих начало бизнеса и т.д. В настоящей работе исследуется вариант постоянного роста числа участников популяции за счёт входа некоторых «стандартных» малых предприятий, для отражения которого в рамках модельного комплекса и сформирован блок «Вхождение в популяцию новых предприятий».
2. Повышение «внутренней информационной прозрачности» популяции, т.е. наличие «передачи опыта» между участниками рынка относительно эффективности реализации тех или иных стратегий. Для отражения возможных «крайних» вариантов – полная недоступность и полная доступность для фирмы «опыта» других участников – в рамках модельного комплекса сформированы две модификации блока «Принятие фирмами решений о выходе или смене стратегий поведения».

Соответственно данным предположениям формируются следующие сценарии внутренней структуры:

г.1. «Закрытая популяция» – вход в популяцию новых фирм отсутствует.

г.2. «Открытая для входа популяция» – каждый период времени в модельную популяцию входит один новый участник: «стандартная» малая фирма.

1.s. «Непрозрачная популяция» – функционирующие фирмы не имеют доступа к опыту относительно эффективности стратегий других фирм и могут адаптироваться исключительно путём выхода из популяции; фирмы – «новички» имитируют стратегии наиболее крупной фирмы популяции.

2.s. «Прозрачная популяция» – функционирующие фирмы и фирмы – «новички» имеют доступ к опыту относительно эффективности стратегий других фирм и могут адаптироваться путём имитации стратегий наиболее рентабельной фирмы популяции

Таким образом, совмещение отражения возможных вариантов условий выделенных подсистем внешней среды и внутренней структуры популяции позволяет сформировать матрицу из 32 сценариев «характер среды + характер популяции». Каждый сценарий реализуется через три набора конкретных значений экзогенных параметров, характеризующих внешнюю среду популяции (тип налоговой системы, финансового рынка и рынка продукта), и набор модификаций блоков, описывающих внутреннюю структуру популяции (открытость для входа и распространение информации). Каждый сценарий кодифицируется в виде «*k.l.m. – r.s*», где первые три параметра обозначают определённый тип каждой подсистемы внешней среды, два последних – внутренней среды популяции. Так, сценарий «1.1.1.-1.1» отражает ситуацию непрозрачности и закрытости для входа популяции, эволюционирующей в условиях жёсткой налоговой системы, ограничительного финансового рынка и стагнирующего рынка продукта. Переход к сценарию «2.1.1.-1.1» отражает частичное изменение среды (снижение налогового давления) структурно неизменной популяции, а переход к сценарию «1.1.1.-1.2» отражает частичное изменение внутренней структуры популяции (интенсификация входа) при неизменности внешней среды.

3.4. Процедура исследования эволюционной модели популяции предприятий

Исследование разработанного модельного комплекса осуществляется на основе серий вычислительных экспериментов в рамках комплекса сценариев и включает три взаимосвязанных этапа, преследующих три группы целей:

1. Предварительный («разведывательный») анализ модели (или её упрощенной, но сохраняющей ключевые черты версии) путём проведения серии вычислительных экспериментов, основанных на широком диапазоне данных, покрывающем область возможных значений реальных значений. Подобный анализ обычно является первым этапом исследования модели, т.к. предварительное явное выявление всех неявно заложенных в модельных предположениях возможных режимов развития существенно облегчает задачу информационного обеспечения последующего прикладного использования модели. Вместо сбора всей совокупности статистических данных относительно предыстории и начальных условиях эволюции оказывается достаточным оценить, в области притяжения какой траектории лежат начальные условия, что является более легкой задачей (так, вместо выяснения начального распределения фирм по стратегиям поведения оказывается достаточной оценка, превысила ли доля фирм-носителей определенный критический порог). Основными взаимосвязанными проблемами данного этапа является сложность выявления всех возможных режимов эволюции и вычислительная сложность, т.к. в случае разреженности «сетки» возможных значений параметров и ограниченности числа компьютерных расчетов существует вероятность (причём априори неизвестная) пропуска какого-либо режима, при уплотнении «сетки» число вариантов множества параметров и, соответственно, число прогонов модели возрастает мультипликативно.
2. Интерполяционные («отладочные») расчеты, направленные на решение задач выбора структурной формы модели, стартовой модельной популяции и анализа устойчивости выводов, полученных на основе исследования модели. В условиях неполноты, методологической несогласованности имеющейся статистической базы интерполяционные расчеты с необходимостью предшествуют экстраполяциям (перспективным), т.к. позволяют восполнить и согласовать данные о предыстории. Основной проблемой данного этапа является однозначного соответствия между наблюдаемыми макропоказателями динамики популяции и ее внутренней структурой (стратегии агентов): одинаковую макро-траекторию могут порождать различные структуры. Поэтому обычно восстановить в результате интерполяционных расчетов можно лишь определенное множество возможных структур, согласующихся с имеющимися данными. Однако даже подобный, более слабый результат позволяет отвергнуть заведомо неправдоподобные исходные данные, т.к. позволяет установить, как не могла быть устроена исследуемая система.
3. Экстраполяционные расчеты, направленные на прогнозирование траекторий развития популяции в различных возможных внешних условиях.

Определение надежности конечных результатов, т.е. их устойчивости к возможным погрешностям заложенных данных относительно внешней среды, внутрифирменных или внутрипопуляционных процессов является отдельной задачей в силу того, что полученные на основе экспертных и эконометрических методов конкретные параметризации модели обладают лишь статистической степенью достоверности. Критическими для надёжности являются те факторы среды, для которых характерно сочетание высокой чувствительности результатов модели и низкой достоверности характеризующих исходных данных: для повышения надёжности

необходима разработка модификаций модели, позволяющих учитывать критические факторы более детально и на основе более полной информации. При этом чувствительность к отдельному параметру может зависеть от значений других параметров, что диктует необходимость анализа чувствительности в рамках сценарного анализа модели. Более того, необходима проверка чувствительности к возможным структурным изменениям отдельных подсистем, подобная проверка может, в частности, проводиться путём частичной модификации модельного комплекса (замене одних соотношений и блоков другими) и параметризации данных модификаций на основе экспертных оценок. Так, высокая чувствительность траектории эволюции к условиям рынка конечного продукта диктует необходимость не только повышения статистической надёжности оценки параметров соответствующего блока, но и уточнения и детализации описания рынка, например, отражения товарной и структурной его сегментации.

Необходимо отметить, что целью данного этапа является анализ чувствительности *качественных закономерностей эволюции популяции в целом*, а не отдельных переменных. Это порождает задачу выявления диапазонов изменения не только экзогенных, но и эндогенных переменных, не изменяющих качественного поведения исследуемых агрегированных переменных. Так, в настоящей работе эластичность функции предложения капитала (экзогенный параметр) изменялась таким образом, чтобы цена капитала (эндогенная переменная) изменялась на всём горизонте исследования модели не более чем на заданное число процентов. Данные расчёты показывают, что для исследуемой популяции изменение цены капитала в 20 процентном диапазоне не приводит изменениям качественной картины, а именно, – во всех сценариях сохраняется тенденции к расширению (вытеснению) тех «стратегических типов», которые расширились (вытеснились) в популяции при базовой траектории цены капитала. Изменение цен капитала в большем диапазоне приводит к тому, что в некоторых сценариях меняются типологию. Данный результат допускает естественное объяснение: при изменении цены капитала в данном диапазоне ни при одном сценарии не изменяется относительная эффективность (т.е. ранжировка по рентабельности) типов, опосредованно определяющая скорость роста или сокращения их носителей, а выход данной переменной за данные границы приводит к тому, что при некоторых сценариях изменяется относительная эффективность типов и запускается процесс вытеснения одних «стратегических типов» другими.

Непосредственным «выходом» вычислительного эксперимента с моделью является панель модельных данных по отдельным предприятиям по всем периодам исследования. Это порождает задачу разработки системы характеристик (и их реализации в виде блока модели), позволяющей выявлять *качественные закономерности поведенческой эволюции популяции в целом*. При этом разработка вычисляемых на основе модели характеристик поведенческой структуры определяется задачами исследования определённого аспекта структурных изменений популяции.

1. **Выявление качественно различных режимов эволюции стратегических установок в популяции и анализ влияния сценарных условий на характер режима эволюции.** Для решения этой задачи вычисляются «типичные значения» поведенческих параметров в популяции.

2. **Анализ тенденций изменения стратегий поведения в популяции, т.е. выявление стратегий, характерных для агентов, увеличивающих свою долю на рынке.** В модели для решения данной задачи в каждый момент времени вычисляется типичная стратегия в популяции. «Типичная стратегия» популяции определяется как набор средневзвешенных поведенческих параметров всех функционирующих в данный момент фирм, взвешенных их рыночными долями, и правил, используемая фирмами, занимающими наибольшую долю на рынке. В соответствии с данным подходом, «типичные» значения поведенческих характеристик в популяции определяются следующим образом:

$$\bar{N}_t = \sum_i s_{it} N_{it}; \bar{R}_t = \sum_i s_{it} R_{it}; \bar{C}_t = \sum_i s_{it} C_{it}.$$

Определение «типичной стратегии» в популяции $\{\bar{N}_t, \bar{C}_t, \bar{R}_t\}$ для каждого момента времени позволяет проводить исследование общей направленности институциональных изменений в популяции и анализ влияния сценарных условий на динамику «стратегических типов» в популяции.

Обратим внимание на то, что определение поведенческой структуры допускает различные подходы и может использовать различные переменные, характеризующие распространённость стратегий. В качестве «меры» распространённости «стратегических типов» может использоваться также совокупная доля фирм-носителей в совокупном капитале популяции, общей численности занятых и т.д. Необходимо обратить внимание на то, что результаты неинвариантны относительно выбранного измерителя распространённости стратегий, а потому выбор зависит от целей анализа и должен адекватно отражать процессы, на которых акцентируется внимание исследователя (изменение структуры рынка, накопление капитала и т.д.).

При этом в практике эволюционного моделирования используются два подхода к анализу получаемых агрегированных модельных результатов (см. [11]):

- **Коэффициентный анализ.** Данный подход предполагает вычисление на основе полученных рядов показателей динамики (темпов изменения) исследуемых характеристик институциональной эволюции популяции и их эластичности по исследуемым факторам. Основным преимуществом коэффициентного анализа является возможность получения результатов в условиях неполноты исходной статистической базы, обуславливающей невозможность проведения широкого числа расчётов, дающих достоверные результаты. Основным недостатком данного подхода являются крайне слабые как аналитические, так и прогностические возможности, т.к. конкретный вид функциональной зависимости исследуемых показателей от факторов остается невыясненным или статистически недоказанным: при использовании коэффициентов фактически априорно задаётся крайне узкий класс зависимости (с постоянной эластичностью, линейный и т.д.).
- **Аппроксимационный анализ.** Данный подход основывается на сглаживании и аппроксимации полученных рядов или зависимостей эконометрическими методами, позволяющими судить о характерных чертах данного режима или функциональной зависимости. Данный подход позволяет сочетать как анализ влияния отдельного изучаемого фактора, так и проводить сравнительный анализ влияния разных факторов на основе сравнения эффектов функциональных зависимостей. Основным преимуществом аппроксимационного анализа является возможность выявления различий характера и силы влияния различных факторов на разных этапах эволюции, выявления эффектов взаимовлияния различных факторов. Основным недостатком данного подхода является низкая статистическая достовер-

ность делаемых выводов, т.к. приходится опираться лишь на ограниченное число факторов-детерминантов, отражаемых в рамках модели.

Таким образом, каждый из подходов обладает как сравнительными недостатками, так и сравнительными преимуществами, поэтому для получения выводов, приемлемых как по надёжности, так и по глубине анализа, представляется целесообразным применение обоих подходов.

- **Исследование институциональной однородности популяции**, т.е. выявление наличия тенденции и скорости сходимости агентов популяции к использованию одной (или нескольких) стратегий, общих для всех агентов (или их части). Объектом исследования данного этапа является изменение во времени поведенческой структуры популяции: сохранение изначального поведенческого разнообразия; формирование однородной структуры, основанной на тяготеции агентов к одной наиболее характерной стратегии; или формирование кластерной структуры, основанной на устойчивом сосуществовании нескольких «характерных» стратегий и вытеснении других. Для решения данной задачи предлагается использовать *функции институциональной структуры популяции* по определённым поведенческим переменным, отражающие совокупные рыночные доли фирм-носителей различных стратегий (в частности стратегических перемных) в каждый момент времени. Предложенное в настоящей работе описание стратегии фирмы позволяет построить следующие функции:

$$f_N(x, t) = \sum_{i, N_{it} \in [x, x+\Delta]} s_{i,t};$$

$$f_C(x, t) = \sum_{i, C_{it} \in [x, x+\Delta]} s_{i,t};$$

$$f_R(x, t) = \sum_{i, C_{it} \in [x, x+\Delta]} s_{i,t}$$

Отметим, что данные функции являются аналогом статистических функций плотности распределения и могут интерпретироваться как вероятность встретить на рынке фирму, являющуюся носителем данной стратегии (в данном случае – значения соответствующих стратегических переменных из определённого диапазона).

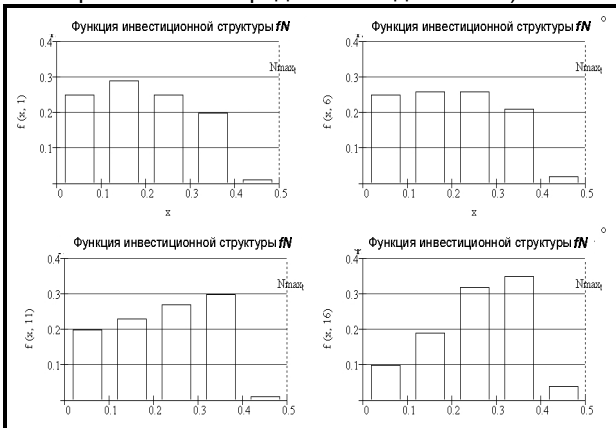


Рис. 3. Пример функции структуры популяции по переменной N , полученной в рамках одного из сценариев для моментов $t = 1, 6, 11, 16$

На рис. 3 приведены примеры функции институциональной структуры по переменной N , полученной в рамках сценария «1.1.1-1.1»: динамика функции f_N для данного сценария отражает увеличение (но с разной скоростью) совокупной доли фирм, имеющих значение переменной N_{it} в диапазоне $0,2 \div 0,5$.

Соответственно, в качестве равновесной поведенческой структуры популяции естественно рассматривать стационарное состояние функций институциональной структуры популяции. В частности, при принятых выше определениях это означает постоянство доли на рынке конечного продукта фирм различных «стратегических типов».

Анализ свойств вида функции позволяет исследовать различные аспекты поведенческой структуры популяции:

1. Количество локальных вершин функции f позволяет сделать вывод относительно единственности «характерной» установки в популяции: наличие единственной глобальной функции (униmodalность) f свидетельствует о наличии единой «характерной» для популяции поведенческой установки, наличие нескольких локальных вершин свидетельствует о наличии разных «характерных» установок, к которым тяготеют разные группы фирм;
2. «Плоский» (близкий к равномерному) или «островершинный» (близкий к точечному) характер функции позволяет оценивать степень поведенческой однородности популяции, степень разброса поведенческих установок фирм вокруг наиболее характерных;
3. Наличие «выбросов» или «хвостов функции» позволяет делать вывод относительно существования в популяции «институциональных феноменов», т.е. групп функционирующих на рынке фирм, стратегии которых существенно отличаются от доминирующих в данный момент в популяции;
4. Оценка значимости каждого из выделенных эволюционных процессов в разных условиях и на разных этапах развития популяции.

Подобную оценку можно проводить на основе разложения совокупного изменения «характерных» значений поведенческих параметров на аддитивные компоненты, обусловленные каждым из выделенных процессов, и определения доли каждой из компонент в общем изменении. Например, можно использовать разложение совокупного изменения «характерного» значения поведенческой переменной на три составляющие: dN_1 – изменение, обусловленное изменением рыночных долей фирм, не изменяющих свои стратегии, а также выхождением части фирм:

$$dN_1 = \sum_{i: N_{i,t-1} = N_{i,t}} N_{i,t} Ds_{i,t}.$$

dN_2 – изменение, обусловленное изменением частоты фирм своих поведенческих установок;

$$dN_2 = \sum_{i: N_{i,t-1} \neq N_{i,t}} D(Ns)_{i,t}.$$

dN_3 – изменение, обусловленное входом новой фирмы:

$$dN_3 = N_{\text{Новая фирма}, t} S_{\text{Новая фирма}, t}.$$

Тогда результирующее изменение может быть представлено в виде:

$$d\bar{N}_t = \bar{N}_t - \bar{N}_{t-1} = dN_1 + dN_2 + dN_3.$$

4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЙ

Вычислительное исследование модели может иметь две группы целей:

1. Цели, связанные с исследованием динамики подстройки функциональных и поведенческих свойств популяции к

изменению условий внешней среды, предполагают экспериментирование с разработанной моделью на ограниченном временном интервале и сравнительный анализ получаемых рядов агрегированных характеристик (в том числе описанных выше), отражающих данные процессы. Временной горизонт детализированного модельного исследования эволюции (т.е. число итераций прогона модели) определяется прежде всего наиболее правдоподобным периодом сохранения качественной неизменности функционирования отражённых подсистем внешней среды. Данное обстоятельство фактически порождает отдельную задачу прогнозирования изменений факторов (свойств технологий, спроса и т.д.), которые могут иметь место и должны находить отражение в модели, соответственно модель, отражающая функционирование популяции в разные периоды времени, должна иметь разную структурную и параметрическую форму. Однако данный подход не позволяет выявить всё множество состояний поведенческого равновесия (т.е. стационарных структур) популяции, возможных при данном множестве сценариев. В силу этого нерешённым остаётся вопрос о природе различий между наблюдаемыми траекториями: вызваны различия траекторий схождением популяции к различным стационарным структурам или различными путями «нащупывания» одной стационарной структуры.

- Цели, связанные с выявлением возможных в данной популяции стационарных поведенческих структур, предполагают расчёты с, возможно, структурно упрощённой моделью на более длительном временном интервале, позволяющем выявить не только характерные режимы эволюции, но и характерные стационарные поведенческие структуры, к которым эволюционирует популяция, а также их «границы притяжения», т.е. совокупность условий, при которых популяция будет постепенно сходиться к данной структуре. Данный подход позволяет анализировать влияние внешних условий не только на характер подстройки популяции, но и на характер устойчивых стратегий в популяции. Однако необходим и анализ «переходного периода», т.е. траектории движения популяции к определённой стабильной структуре, поскольку неблагоприятная ситуация, когда «рынок все решит, но после нас», т.е. когда стационарная поведенческая структура популяции принципиально достижима на основе эволюционных механизмов, но период её достижения чрезвычайно велик. Поэтому необходимо задание некоторого «максимально допустимого периода», по достижении которого оценивается достигнутое популяцией состояние.

Так, для ситуации исследуемой популяции экспериментирование на длительном временном интервале (40 тактов модельного времени) проводилось с модифицированной модели, предполагающей закрытость популяции и отсутствие внешнего финансирования, а также отсутствие деления фирм на «активные» и «пассивные» типы. Результаты расчётов показали, что достаточно устойчивая многоукладность, динамическое сосуществование «инноваторов» и «экспансионистов» складывается в сценариях, характеризующихся сочетанием расширяющегося рынка продукта и жёсткой налоговой системы: в данных условиях темпы роста фирм-носителей данных типов постепенно сравниваются, и их совокупные рыночные доли практически перестают изменяться после 25 тактов. Это допускает простое объяснение: в данных условиях фирмы наращивают свой потенциал разными способами («экспансионисты» наращивают величину основных фондов, «инноваторы» – их производительность и снижают издержки), но начиная с некоторого момента популяция выходит на такую траекторию цен продукта и капитала, которая балансирует темпы роста этих типов. Однако в сценариях, характеризующихся стагнирующим рынком продукта, происхо-

дит постепенное замедление темпов роста всех типов, кроме «инноваторов», которые преодолевают негативную динамику рынка за счёт снижения издержек. Таким образом, в данных случаях в рамках принятых предположений наблюдается «выдавливание» инноваторами других типов предприятий. И наоборот, при расширяющемся рынке и мягкой налоговой системе «экспансионисты» во все моменты времени демонстрируют наивысшие темпы роста среди всех типов фирм и становятся доминирующим типом. Данные результаты допускают очевидную интерпретацию, однако механизмы, их формирующие, многообразны и связаны со сложным конкурентным взаимодействием фирм разных типов на рынках. Однако общая причина изменения поведенческой динамики в популяции – разная чувствительность фирм разных типов к изменениям подсистем среды. Изменения траектории цен, налогообложения оказывают различное по силе воздействие на возможности роста носителей различных «стратегических типов», именно подобная селективность воздействия приводит к изменению структуры популяции в целом: так, изменение характера налогообложения оказывает большее непосредственное воздействие на «экспансионистов», имеющих большие темпы роста капитала и, соответственно, более чувствительных к налогообложению имущественного комплекса.

Необходимо отметить, что в рамках эволюционного подхода накоплен значительный опыт исследования условий и факторов, приводящих к устойчивому сосуществованию различных организационных форм и стратегий поведения в популяциях фирм. Исследование феномена стабильно воспроизводящейся поведенческой неоднородности («многоукладности») многих систем организаций привело к возникновению концепции организационных ниш, согласно которой возможно существование многих различных комбинаций (а не единственной оптимальной, как предполагают неоклассические концепции) поведенческих установок, обеспечивающих своим носителям в данных условиях среды возможность выживания и поддержания организационного компромисса. Эмпирические исследования также показывают, что поведенческая гомогенность менее распространена, чем поведенческая неоднородность, причём как для развитых, так и для формирующихся экономик. В рамках данной концепции был создан целый спектр теорий, учитывающих такие факторы, как характер и структура спроса, доступные технологии, возможности универсализации и специализации предприятий и т.д. Широкий обзор подобных исследований дан в [15]. Экономическая природа данного явления проста: определённые комбинации внешних условий создают возможности для роста группы определённых стратегических типов одинаковыми темпами, что порождает неоднородную многоукладную структуру популяции, в то время как другие комбинации приводят к появлению некоторого типа-лидера в скорости роста и замедлению роста других типов, что приводит к их постепенному вытеснению из институционального пространства популяции и формированию гомогенной структуры. Необходимо при этом отметить, что в рамках принятых в настоящей модели предположений тенденция к поведенческой однородности является более распространённой, чем в реальности. Данное обстоятельство, по-видимому, объясняется тем, что в реальности на популяцию действует значительно большее число факто-

ров и существует больше специфических черт данной рыночно - отраслевой системы, чем отражено в модели, что обуславливает существование значительно большего числа устойчивых организационных ниш (связанных с эксплуатацией локальных, но стабильных рынков, уникальных технологических способов и т.д.). Кроме того, реальный «стратегический профиль» предприятия существенно более многомерен, чем принято в модели, что обуславливает возможность существования более узких поведенческих типов, например, «инноватор продукта» и «инноватор технологии». Необходимо также отметить, что, как было обосновано выше, мы проводим анализ в «пространстве стратегий», используя относительные (рыночная доля) характеристики. Однако очевидно, что сокращение относительной распространённости того или иного «стратегического типа» в силу более быстрого роста других типов может не препятствовать устойчивому сохранению носителями данного типа абсолютных результатов (объёма выпуска, прибыли и т.д.), достаточных для удовлетворения интересов стейкхолдеров (в данном случае – поддержание рентабельности капитала) и стабильного сохранения данных агентов. Более того, в реальности могут существовать сложные взаимозависимости между различными «стратегическими типами», связанные с трансфером технологий, накоплением специфических ресурсов (квалифицированного труда) и т.д., адекватный анализ которых требует подхода, отличного от принятого. Так, например, быстрый рост «экспансионистов», ориентированных на расширение масштабов производства продуктов массового спроса, может не препятствовать, а даже иметь необходимым условием устойчивое существование узкого круга «инноваторов», ориентированных на производство нишевых продуктов и расширяющих спектр доступных технологий и запас специфических ресурсов. Поэтому при переходе к рассмотрению «пространства агентов», их более сложных взаимозависимостей и абсолютных характеристик полученные результаты и выводы могут измениться.

Проведённый в рамках «матрицы сценариев» сравнительный анализ траекторий агрегированных «типичных» стратегий и функций институциональной структуры позволил выделить три качественно различных режима эволюции, т.е. распространения различных «стратегических типов» в популяции.

I. Немонотонный во времени режим эволюции: первоначальное распространение определённых «стратегических типов» агентов с последующим сокращением их распространённости в популяции

Установление подобного режима может быть вызвано инерционным расширением в «мягких» условиях среды крупных предприятий, относящихся к стратегическим типам «защитник» и «аутсайдер» (т.е. носителей пассивных и нежизнеспособных в долгосрочной перспективе стратегий), до момента («точки перегиба траектории эволюции»), когда подобные агенты перестают играть существенную роль в популяции или в силу адаптации большинства из них, или «проедания» внутренних ресурсов и постепенного сокращения подобных предприятий, более того, сочетание «мягких» условий среды с внутренней структурой, характеризующейся открытостью и непрозрачностью, приводит к

тому, что нежизнеспособные в долгосрочной перспективе стратегии распространяются за счёт не только роста их изначальных носителей, но и их адаптации «новичками», вынужденными по предположению ориентироваться на опыт наиболее крупной фирмы. Наиболее характерный пример подобной траектории даёт сценарий «2.1.2-1.1». Необходимо отметить, что проявление данного феномена объясняется также и спецификой стартовой популяции, наиболее крупными фирмами которой оказываются носители пассивных «стратегических типов»: для исследуемой популяции подобная ситуация выглядит правдоподобной в силу наличия крупных, на старых и медленно развивающихся предприятий, однако установление реалистичности данного вывода требует более тщательного исследования реальной популяции.

Анализ результатов вычислительных экспериментов позволяет сделать вывод: для установления подобного режима может быть вызвано двумя факторами:

- продолжительность периода адаптации агентов: существующие в популяции крупные предприятия, являющиеся носителями нежизнеспособных в долгосрочной перспективе (т.е. большей характерного периода адаптации агентов) стратегий, некоторое время опережают в росте другие предприятия за счёт больших внутренних финансовых ресурсов, генерируемых крупным предприятием (низкая эффективность некоторое время компенсируется значительными размерами). Точка перегиба траектории в данном случае наступает, когда подобные агенты перестают играть существенную роль в популяции или в силу адаптации большинства из них, или «проедания» внутренних ресурсов и постепенного сокращения предприятия;
- в случае внутренней непрозрачности популяции, отсутствия у предприятий верной информации при смене стратегии опыт крупных, но неэффективных фирм может некоторое время копироваться входящими фирмами, по предположению ориентирующимися при выборе поведенческих образцов именно на размер предприятия. В данном случае нежизнеспособные в долгосрочной перспективе стратегии распространяются за счёт не только их изначальных носителей, но и их временной адаптации новыми агентами. В данном случае поведенческая траектория популяции может существенно измениться: могут появляться несколько (в подавляющем большинстве случаев – два) локальных экстремумов, отражающих динамику начальных носителей и появление новых носителей.

Подобный режим эволюции следует рассматривать как нежелательный, т.к. определённое время в институциональном пространстве популяции распространяются стратегии, оказывающиеся в итоге нежизнеспособными, при этом замедляется перераспределение ресурсов в пользу носителей жизнеспособных стратегий. Таким образом, исследование модели позволяет сделать вывод, что делавшиеся во многих работах на основе эмпирических наблюдений предположения о постепенном (монотонном) вытеснении «переходных» типов стратегий «рыночными» являются возможным, но отнюдь не единственным путём институционального развития.

II. Монотонный во времени (близкий к линейному) режим

Данный режим устанавливается в условиях, характеризующихся стимулирующим финансовым рынком в сочетании с открытостью и информационной прозрачностью, и порождается однонаправленным действием всех эволюционных механизмов: диффузия наиболее эффективных в данных условиях стратегий за счёт интенсивного роста фирм-носителей поддерживается и

усиливается адаптацией данной стратегии другими фирмами и фирмами – «новичками».

III. Монотонный режим с замедлением

Данный режим порождается в условиях закрытости популяции, когда постепенное замедление интенсивности роста фирм – первоначальных носителей эффективных стратегий не компенсируется адаптацией другими фирмами и/или фирмами – «новичками».

На рис. 4 приведены примеры траектории переменной \bar{N}_t , наиболее характерно отражающие выделенные режимы эволюции.

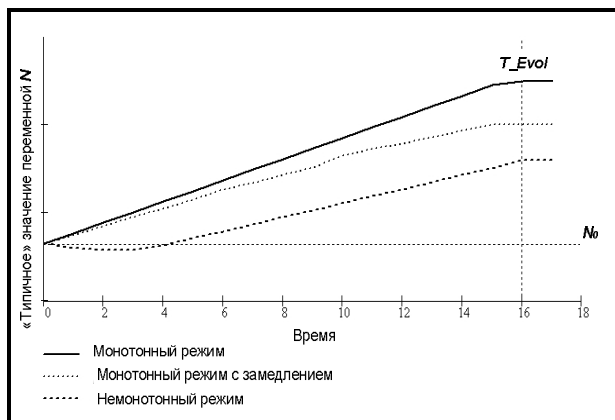


Рис. 4. Характерные режимы эволюции переменной \bar{N}_t

(T_Evol – горизонт исследования модели, N_0 – начальное значение переменной)

«Разведывательный анализ» показал также для отдельных сценариев возможность возникновения «длинных волн», т.е. установления **колебательного режима**, при котором периодически изменяются как «характерные» поведенческие, так и «физические» ресурсно-технологические характеристики популяции. Необходимо отметить, что возможность установления в популяции режима циклических изменений переменных как незатухающего (автоколебательного), так и затухающего (релаксационного) характера определена во многих работах (например, [25], [10], [23], [6]). Проведённые вычислительные эксперименты с оригинальной моделью показывают, что параметры циклических изменений (период и размах колебаний) имеют тенденцию кластеризоваться во времени: периоды низкочастотных значительных колебаний сменяются периодами высокочастотных незначительных. Анализ результатов позволяет сделать вывод, что установление подобного режима вызвано именно спецификой финансово-инвестиционных стратегий агентов популяции и различиями характерных периодов адаптации поведенческих (определяемого принятым в модели временем адаптации агентов) и ресурсно-технологических процессов (определяемого заложенным в модели временем изменения производственных возможностей агентов, существенно меньшим характерного времени адаптации агентов), нелинейно взаимосвязанных в популяции. При этом высокочастотные колебания связаны именно с изменениями функции предложения популяции: не успевая адаптировать своё поведение, большинство агентов наращивают предложение (адаптирует производственные возможности), что вызывает падение цен,

которое приводит к усилению внешнего финансового давления на предприятия и сокращению инвестиций и предложения популяции. «Перегрев рынка» приводит к замедлению роста и частичному выбытию «экспансионистов», однако по мере стабилизации рынка данные типы вновь начинают распространяться в популяции.

Можно сделать вывод, что циклические колебания порождаются «близорукостью» и «ориентированностью на прошлое» (backward-looking) инвестиционных стратегий агентов, основанных на определении желаемых инвестиций на основе результатов ограниченного числа прошлых периодов и отчислении на расширение производства фиксированной доли финансовых ресурсов: стратегии типа «хорошее текущее положение – много инвестиций, плохое положение – мало инвестиций» могут в масштабах популяции приводить к самоподдерживающимся колебаниям. Так, в предложенной модели предполагается, что все агенты ориентируются при определении уровня желаемых инвестиций на результаты предшествующего периода.

В то же время низкочастотные колебания связаны с адаптацией агентов: значительные группы агентов, которых подобные колебания ситуации в популяции приводят к неприемлемым изменениям собственного положения, выбывают или изменяют стратегии поведения, что приводит к существенным изменениям положения в популяции и дальнейшему нарастанию колебаний до тех пор, пока в популяции вновь не установится некоторая стабильная поведенческая структура. Возможность подобного режима развития виртуальной модельной популяции (резкое сокращение числа участников и «скатывание» к олигопольной структуре) означает принципиальную возможность отхода реальной популяции от конкурентной рыночной структуры в сторону более концентрированных структур и развития в ней таких нежелательных в целом явлений, как локальный монополизм. Однако функционирование популяции, фирмы которой обладают определённой рыночной властью, принципиально отличается от описанного в разработанной модели и не может исследоваться непосредственно на её основе: в частности, требуются изменения блока «Рынок конечного продукта», отражающие изменения рыночной структуры.

Таким образом, можно сделать вывод, что одним из наиболее важных направлений развития предложенной модели (и эволюционного моделирования в целом) является отражение неоднородности агентов в формировании ожиданий, которые кладутся в основу принятия стратегических решений: так, возможно введение в модель, наряду с backward-looking агентами, некоторой «примеси» forward-looking агентов. Осуществление подобной модификации позволит (хотя бы на абстрактном уровне, без «привязки» к конкретной популяции и её окружению) исследовать действие механизмов контрциклической саморегуляции на уровне стратегий поведения агентов и их распространение в популяции, т.е. на микроэкономическом уровне.

Предложенное разложение совокупного изменения «характерных» значений поведенческих параметров на аддитивные составляющие позволяет показать, что на разных этапах развития популяции и в разных условиях её среды ведущую роль в изменении поведенческой структуры популяции играют разные эволюционные механизмы. Так, для значительного числа сценариев характерна крайне медленная диффузия

стратегий (их носителями остаются преимущественно фирмы, изначально использовавшие данную стратегию), при этом динамика распространённости различных поведенческих установок определяется исключительно динамикой их носителей: чем больше в данных условиях среды возможности для роста носителей обеспечивает стратегия, тем интенсивнее рост её доли в «генофонде» популяции.

Данный вариант является аналогом *эволюционной ловушки* (см. [19]), однако в условиях, отражённых в настоящей модели, нельзя делать однозначного вывода относительно эффективности данного варианта: отсутствие адаптации фирмами новых стратегий и блокированность механизмов диффузии может породиться как общими «мягкими» условиями среды (группа сценариев 2.1.2-п.1), которые позволяют фирмам обеспечивать приемлемый уровень удовлетворённости stakeholder'ов без изменения стратегий, так и сочетанием закрытости популяции и «мягкости» отдельных частей среды (сценарии 2.1.1-п.1 и 1.1.2-п.1), которое формирует слабое внутривидовое давление на неэффективные фирмы.

Наряду с этим структура популяции, характеризующаяся сочетанием открытости для входа и информационной прозрачности (сценарий популяции 2.2), во всех исследованных сценариях внешней среды порождает наиболее быстрый среди всех возможных структур отбор и диффузию жизнеспособных стратегий и наиболее однородную институциональную структуру популяции, при этом ускорение эволюции достигается как за счёт активизации механизма адаптации, так и за счёт усиления внутривидового давления на рынках продукта и капитала на неадаптировавшие эффективные стратегии фирмы. Траектория эволюции оказывается наиболее приемлемой для всех групп стейкхолдеров (наибольшие темпы роста финансовых результатов и производства). Таким образом, возникновение в популяции циклов обратной связи между усилением внутривидового давления и скоростью адаптации фирмами эффективных стратегий позволяет преодолевать поведенческую инерцию предприятий.

В то же время наименее приемлемая для всех групп стейкхолдеров траектория эволюции формируется при сочетании непрозрачной структуры и ограничительных условий среды (сценарии среды 1.1.1. и 1.1.2), при этом наиболее значимым механизмом эволюции становится выживание неэффективных фирм, что может приводить к существенной концентрации рынка продукта. Таким образом, можно сделать вывод об ограниченных возможностях компенсации и замещения одними эволюционными механизмами других и необходимости создания условий для их совместного действия: блокированность отдельных механизмов эволюции приводит к существенному снижению скорости поиска наиболее эффективных норм и их распространения в популяции, что приводит к потерям в процессе подстройки системы и снижению интегральной эффективности эволюции.

Анализ результатов исследования позволяет вскрыть многие специфические свойства диффузионного механизма поведенческой эволюции популяции, при котором в условиях разнообразия агентов более эффективные стратегии «передаются» от одних фирм другим.

Так, во многих ситуациях решающую для эффективности всего процесса эволюции роль играют «институ-

циональные инкубаторы», поддерживающие поведенческое разнообразие как поле действия эволюционных механизмов отбора и диффузии. Так, в условиях резкого изменения внешней среды становление институциональной структуры популяции может проходить две фазы. В первой, латентной, фазе немногие пионерные носители и «инкубаторы» стратегии сохраняют её в «генофонде» популяции до некоторого определённого порогового уровня распространённости, за которым для других агентов раскрывается потенциал её эффективности. Во второй, имитационной, фазе остальные агенты адаптируют стратегию. Отметим, что данная закономерность характерна и для случая многих технологических инноваций (см. [16]). Так, несмотря на малую в начальный момент долю в популяции предприятий, являющихся носителями стратегического типа «инноватор», при определённом изменении условий среды (которым соответствует переход к сценариям группы «1.х.1.-п.п.» стагнирующего рынка продукта и жёсткой налоговой системы) именно инновационный тип поведения становится сравнительно наиболее эффективным и начинает распространяться в популяции за счёт имитации.

Выявленные существенные различия в «жизненной судьбе» предприятий, схожих одними и различающихся другими поведенческими установками, подтверждает, что динамика фирмы в целом и в каждом из её аспектов (уровень технологического развития, рыночное положение т.д.) определяется всеми видами стратегии фирмы (т.е. всеми составляющими её «генотипа»): как правилами, непосредственно регулируемыми данную сферу функционирования и воспроизводства, так и правилами, определяющими другие действия фирмы и влияющими опосредованно (через воздействие на рыночную долю, финансовое положение фирмы и т.д.). Так, в большинстве вариантов внешней среды судьба фирм-носителей стратегических типов, различающихся лишь степенью активности (т.е. параметрами q и g : «активный инноватор» – «органический инноватор», «активный экспансионист» – «органический экспансионист»), существенно различается, причём эти различия тем больше, чем больше возможности предоставляет среда для роста активных фирм. Так, расширение доступности кредита (сценарии среды $x.2.x$) создаёт дополнительные селективные механизмы ускорения диффузии стратегий типа «активный экспансионист», усиливая положительную связь доступности кредита и эффективности (способности к росту) фирмы.

Воздействие элементов внешней среды на диффузию стратегий характеризуется наличием многих каналов, способных оказывать разнонаправленное влияние. Так, анализ влияния налоговой системы показывает, что изменения как самой системы, так и отдельных её параметров, воздействуя на финансовое положение фирм, могут оказывать разнонаправленное влияние на скорость поведенческой эволюции популяции в целом, с одной стороны, расширяя возможности роста носителей эффективных стратегий, с другой – ослабляя давление на носителей неэффективных. Ослабление внешнего налогового давления на фирмы, характеризующиеся низким внутренним давлением, пассивными и низкоэффективными стратегиями, приводит не к модернизации, а консервации подобных фирм за счёт «проедания» высвобождающихся средств. Возмож-

ность подобной ситуации подтверждает необходимость создания системы селективного воздействия на носителей различных стратегий. При этом механизм прогрессивного ЕНВД (т.е. привязанного к средней доходности фирм популяции) может оказывать существенное стимулирующее воздействие на эволюцию, основанное на следующем механизме: **преимущественное давление на низкоэффективные фирмы → выбытие низкоэффективных фирм → повышение среднего уровня доходности в популяции → повышение ЕНВД.**

Таким образом, изменение подсистем внешней среды (в данном случае – системы налогообложения и рынка конечного продукта) может оказывать разнонаправленное влияние на скорость поведенческой эволюции популяции в целом, с одной стороны, расширяя возможности роста носителей социально желательных стратегий, с другой, – ослабляя давление на носителей нежелательных и приводя тем самым к замедлению адаптации фирмами более эффективных в данных условиях стратегий, сохранению в популяции значительного числа неадаптировавшихся низкоэффективных фирм. Так, в «мягких» условиях среды, с одной стороны, расширяются внутренние источники развития фирм, являющихся носителями социально желательных типов «инноватор» и «экспансионист», но, с другой стороны, расширение рынка позволяет поддерживать фирмам типов «защитник» и «аутсайдер» результаты функционирования, достаточные для своего сохранения в популяции. Таким образом, результирующее воздействие расширения рынка определяется балансом ускорения роста и замедления адаптации фирм. Подобные ситуации отражаются более «плоским» видом функций институциональной структуры популяции и сохранением «хвостов» функций. Подобные результаты позволяют сделать вывод, что меры экономической политики могут расширять возможности выживания носителей социально нежелательных норм (антиселекция) и приводить к «контринтуитивным» результирующим эффектам, противоположным планируемому. Соответственно, для ускорения диффузии социально желательных (в данном случае – инвестиционно активных) стратегий поведения меры экономической политики должны оказывать комбинированное воздействие на предприятия: с одной стороны, стимулировать рост носителей эффективных стратегий, а с другой – не расширять возможности роста носителей неэффективных. Подобный результат позволяет также сделать вывод, что для создания условий эволюции, эффективной для всех групп стейкхолдеров фирм, необходимы поддержка и дополнение мерами экономической политики собственно эволюционных механизмов диффузии: так, расширение доступности внешнего финансирования позволяет усилить действие механизма роста эффективных фирм, упрощение входа в популяцию и повышение её информационной прозрачности – механизма увеличения количества фирм в популяции, адаптировавших эффективные стратегии.

Литература

1. Andersen E.S. *Evolutionary Economics*. London: Pinter, 1994
2. Birchenhall C., Kastrinos N., Metcalfe J. «Genetic algorithms in evolutionary modelling» // *Journal of evolutionary economics*, 1997, № 4
3. Cyert R.M., March J.G. *A Behavioral Theory of the Firm*. UK: Blackwell, 1992 (second edition since 1962)

4. England R.W. (editor) *Evolutionary Concepts in Contemporary Economics*. Ann Arbor: University of Michigan press, 1994
5. Hannan M., Freeman J. *Organizational Ecology*. Oxford: Cambridge, 1989
6. Kagel J.H., Roth A. (editors) *The Handbook of Experimental Economics*. Princeton, 1995
7. Magnusson L. (editor) *Evolutionary and Neo-Schumpeterian Approaches to Economics*. Boston: Kluwer, 1994
8. Marengo L., Willinger M. «Alternative methodologies for modeling evolutionary dynamics» // *Journal of evolutionary economics*, 1997, № 4
9. Metcalfe J. *Evolutionary Economics and Creative Destruction*. London: Routledge, 1998
10. Nelson R., Winter S. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Harvard University Press, Cambridge, 1982 (В русском переводе: Нельсон Р., Уинтер С. *Эволюционная Теория экономических изменений*. М.: Финстатинформ, 2000)
11. Prescott E. «The computational experiment: An econometric tools» // *Journal of economic perspectives*, 1996, № 1
12. Tesfatsion L. «Agent-based computational economics: constructive approach to economic theory», <http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi>, 2005
13. Бабенко М.В. *Поведение российских предприятий в переходной экономике*. М.: МАКС-пресс, 2001
14. Багриновский К.А., Егорова Н.Е. *Имитационные системы в планировании экономических объектов*. М.: Наука, 1980
15. Валитова Л.А., Тамбовцев В.Л. «Организационная экология» // *Российский журнал менеджмента*, 2005, № 2(3)
16. Глазьев С.Ю. *Теория долгосрочного технико-экономического развития*. М.: Владар, 1993
17. Гурков И.Б., Аврамова Е.М., Тубалов В.С. *Стратегическая архитектура конкурентоспособной фирмы*. М.: ГУ-ВШЭ, 2005
18. Клейнер Г.Б. *Эволюция институциональных систем*. М.: Наука, 2004
19. Клейнер Г.Б., Чижанов С.О. «Эволюционные механизмы диффузии и согласования микроэкономических институтов» // *Вестник ГУУ, серия «Институциональная экономика»*, 2002, № 3
20. Маевский В.И. «К характеристике эволюционной экономики» // *Вестник ГУУ, серия «Институциональная экономика»*, 2000, № 1
21. Макаров В.Л. «О математических моделях конкуренции между предприятиями» // *Экономическая наука современной России*, 2002, № 1
22. Макаров В.Л. «Эволюционная экономика: некоторые фрагменты теории» // В кн. «Эволюционный подход и проблемы переходной экономики». М.: Япония сегодня, 1995
23. Сильверберг Д., Верспаген Б. «Экономическая динамика и адаптация поведения: приложения к одной эволюционной модели эндогенного роста» // В кн. «Эволюционный подход и проблемы переходной экономики». М.: Япония сегодня, 1995
24. Сухарев О.С. «Эволюционная макроэкономика в шumpетерианском прочтении» // *Вопросы экономики*, 2003, № 11
25. Тамбовцев В.Л. (ред.) *Моделирование эволюции экономических систем*. М.: Диалог-МГУ, 1997
26. Тироль Ж. *Рынки и рыночная власть. Теория организации промышленности*. С.-Пб: Экономическая школа, 1996
27. Чижанов С.О. «Эволюционное моделирование инновационных процессов» // *Сборник тезисов конференции «Ломоносовские чтения –2003»*. М.: ТЕИС, 2003
28. Чижанов С.О. «Эволюционная модель институциональной коэволюции банков и фирм» // *Актуальные вопросы микро-математического моделирования*. М.: ТЕИС, 2004
29. Шумпетер Й.А. *Теория экономического развития*. М.: Прогресс, 1982