

КРАВЦЕВИЧ Кирилл Вячеславович

Старший преподаватель кафедры анализа систем и принятия решений

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина
620062, РФ, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
Контактные телефоны: (343) 375-48-26, (922) 106-47-08
e-mail: kvk@mail.ustu.ru, kravtsevich@mail.ru



БЕРГ Дмитрий Борисович

Доктор физико-математических наук,
профессор кафедры анализа систем и принятия решений

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина
620062, РФ, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
Контактные телефоны: (343) 375-48-26, (922) 280-77-65
e-mail: bergd@mail.ru

ЛАПШИНА Светлана Николаевна

Кандидат технических наук,
доцент кафедры анализа систем и принятия решений

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина
620062, РФ, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
Контактные телефоны: (343) 375-48-26, (922) 206-81-58
e-mail: sv.lapshina@gmail.ru



Динамика роста экономических «газелей»

Ключевые слова: экономический агент; клеточные автоматы; агент; рост; динамика; экспоненциальная функция; степенная функция; окрестность; дифференциальные уравнения; объем продаж; активы; издержки; «газель».

Аннотация. О некоторых особенностях в моделях экономической динамики и быстром росте экономических агентов. В статье последовательно доказывается гипотеза А. Ю. Юданова об экспоненциальном росте экономических агентов («газелей»). Доказательство приводится с использованием агенториентированной модели роста «газелей». Показано, что последовательный запуск успешных проектов обеспечивает рост агента, подобный экспоненциальному.

Исследования особенностей динамики роста фирм среднего и малого бизнеса в США, выполненные Дэвидом Берчем [1], показали, что существует группа фирм, получивших динамичное название «газели», ежегодные темпы роста которых превышают 20% и сохраняются на протяжении не менее пяти лет. Несмотря на то что доля этих фирм ничтожно мала (менее 1%), они обеспечивают не менее 5% прироста ВВП и создают до 80% новых рабочих мест [1]. Поведение «газелей» характерно для начальных этапов жизненного цикла компании. Некоторым удается сохранять такие темпы роста десятилетиями (например, Hewlett Packard).

Анализ динамики экономического роста «газелей» в РФ [2], проведенный финансовой компанией «ИНТРАСТ» за период 1999–2007 гг., показал, что для «российских га-

зелей» характерен не менее динамичный рост (от 30% ежегодного прироста в течение более четырех лет). «Газели» обнаружены как в растущих (хай-тэк, банковский сектор), так и в проблемных (обувная промышленность, машиностроение) отраслях экономики нашей страны. База проведенных исследований включала более 13 тыс. быстрорастущих предприятий (свыше 20% ежегодного прироста в течение четырех лет) из разных отраслей российской экономики, среди них более 50 компаний демонстрировали рост активов или объемов реализации не менее 30–40% в год, а некоторые из них – 10-, 20- и даже 80-кратный рост за указанный восьмилетний период. Авторами исследования отмечено, что количество «газелей» в нашей стране больше, чем на Западе. По разным оценкам, в нашей стране быстрорастущих фирм насчитывается от 7 до 15%.

После кризиса 2008 г. общее количество «газелей» заметно уменьшилось. Отсутствие привязки «газелей» к конкретной отрасли позволяет говорить о них как о системном явлении, требующем внимательного изучения условий их появления и успешного роста.

На основании обобщения эмпирических данных А. Ю. Юданов [3] сформулировал ряд условий роста «газелей», в частности:

последовательная реализация успешных проектов «газели» обеспечивает экспоненциальный характер роста;

использование стратегий роста «газелей» – масштабирование, тиражирование, гранулирование.

Для объяснения феномена экспоненциального роста «газели» А. Ю. Юдановым было предложено использовать модель Лотки–Вольтерра «хищник – жертва» [2]. Однако ряд ее характеристик, например размножение «хищников» (в качестве которых выступают «газели») при достаточном количестве «жертв» (ресурсы рынка, платежеспособный спрос), не совсем соответствует гипотезе о последовательной реализации нескольких проектов, так как размножение в модели является континуальным, а количество проектов, реализуемых «газелями», ограничено несколькими десятками. При этом экспоненциальный рост «хищников» можно соотнести только с быстрым ростом активов «газели», а не с увеличением объема продаж.

В экономических исследованиях часто возникают задачи по моделированию развития сценариев роста экономических агентов. Зачастую модель роста субъекта рынка не удается реализовать из-за сложности соблюдения всех ограничений. Применение имитационного моделирования (ИМ) позволяет решать различные задачи, в том числе основанные на модели Лотки–Вольтерра [4], которая предлагается для изучения экспоненциальных участков роста «газелей». Изучить этап быстрого роста компаний, развитие которых определено ростом нескольких параллельно развивающихся проектов, можно, пользуясь численными методами, в частности агенториентированными моделями [4] (частный случай ИМ), в которых решение дифференциальных уравнений [5] заменяется имитацией поведения большого числа агентов.

Агенториентированное моделирование, развитие которого напрямую определяется увеличивающимися вычислительными возможностями современных компьютеров, позволяет представить (смоделировать) систему практически любой сложности из большого количества взаимодействующих объектов. В литературе можно найти множество различных определений агентного моделирования. С точки зрения практического применения агентное моделирование можно определить как метод имитационного моделирования, исследующий поведение децентрализованных агентов и то, как их поведение определяет поведение системы в целом. При разработке агентной модели исследователь-разработчик вводит параметры агентов (это могут быть люди, компании, активы, проекты, транспортные средства, города, животные и т. д.), определяет их поведение, помещает их в некую окружающую среду, устанавливает возможные связи, после чего запускает моделирование. Индивидуальное поведение каждого агента определяет глобальное поведение моделируемой системы.

Достаточно трудными являются иллюстрация и интерпретация результатов агентно-ориентированного моделирования. Наиболее известные примеры российского агентного моделирования реализованы в ЦЭМИ РАН [6].

Нашей целью являлась проверка гипотезы экспоненциальной зависимости динамики роста объемов продаж на начальных этапах развития экономических «газелей» в условиях последовательной реализации нескольких проектов на основе агенториентированной модели.

Агенториентированная модель роста «газели»

Для построения агенториентированной модели была использована вычислительная среда клеточных автоматов [7]. Клеточный автомат (КА) – решетка, клетки которой находятся в одном из нескольких возможных состояний и синхронно меняют эти состояния по заранее заданному набору правил. Правила определяют состояние клетки в следующий момент времени через состояние клеток-соседей (находящихся в ее локальной окрестности). Обычно рассматривается квадратная решетка. (Один из самых известных примеров клеточного автомата – игра «Жизнь» [7].)

В настоящей работе рассматривается простейшая модель клеточных автоматов (КА-модель) [8], которая пошагово имитирует рост агента при потреблении ресурса (платежеспособного спроса) и покрытии издержек, описываемый известным балансовым уравнением [9; 10]:

$$f_w = \frac{dA}{dt} + f_c + f_v, \tag{1}$$

где f_w – входной поток ресурса (платежеспособный спрос) к агенту; dA/dt – изменение активов агента в единицу времени; f_c и f_v – потоки постоянных и переменных издержек агента соответственно.

Соответствие поведения экономического агента на этапах своего роста правилам клеточных автоматов представлено в таблице.

**Соответствие правил и параметров модели клеточных автоматов
росту экономических агентов**

Феноменология экономики	Модель клеточных автоматов
1. Рынок	Модельное поле (квадратная решетка со стороной M), каждая клетка которого может быть в одном из трех состояний: c (подвижные клетки), a (неподвижные клетки агента), o (пустые клетки)
2. Объем рынка, совокупный спрос (р.)	Количество свободного ресурса (клеток в состоянии c) на модельном поле
3. Агент i (i -й агент в модели), $i = 1...N$	Совокупность клеток в неподвижном состоянии (A_i) – количество клеток i -го агента
4. Размер активов i -го агента (р. в текущий момент времени)	$A_i(t)$ – количество неподвижных клеток a в i -м агенте модели (шт.)
5. Время (дни, недели, месяцы, годы)	T – время в модели (количество циклов работы программы)
6. Прирост активов в единицу времени = продажи в текущий момент времени – издержки в текущий момент времени (переменные и постоянные)	Увеличение количества клеток i -го агента ($A_i(t)$) происходит как результат двух противоположных процессов (за 1 цикл работы программы): 1) прилипание клеток c к совокупности клеток i -го агента (переход c в a); 2) отлипание клеток a от совокупности клеток i -го агента (переход из a в c)
7. Объем продажи i -го агента (р. в текущий момент времени)	$P_i(t)$ – количество клеток c , которое прикоснулось к клеткам i -го агента (за 1 цикл работы программы) в результате случайного блуждания клеток c

Феноменология экономики	Модель клеточных автоматов
8. Переменные издержки (р. в текущий момент времени) – доля от продаж агента в текущий момент времени	Количество клеток в состоянии c , которые коснулись агента, но не прилипли (с заданной вероятностью $(1 - D_j)$) к клеткам i -го агента (за 1 цикл работы программы)
9. Постоянные издержки (р. в текущий момент времени) – доля от текущих размеров активов агента в текущий момент времени	Количество клеток в состоянии a , отлипающих (с заданной вероятностью S_k) от совокупности клеток i -го агента (за 1 цикл работы программы) и переходящих в состояние c

Для работы модели задаются начальные условия:
 размер модельного поля $M \times M$ ($M = 100 \dots 1\,000$);
 доля свободного ресурса R в общем количестве клеток на модельном поле ($R = 0 \dots 1$);

координаты $[X; Y]$ и момент времени ($\tau \in t$) появления проектов «газели» на модельном поле;

вероятности D_j и S_k , определяющие объем постоянных и переменных издержек, где j, k – количество соседей в окрестности каждой клетки на поле ($j = 1 \dots 4, k = 1 \dots 8$);

количество циклов T (время в модели $t = [0; T]$).

Один цикл роста агента во времени осуществляется за несколько шагов по заданным правилам, выполняемым в определенной последовательности.

1. Переход – случайное блуждание клеток свободного ресурса c по незанятым агентами клеткам o, c в момент времени $t - 1$.

2. Прилипание – клетки c , коснувшиеся на первом шаге совокупности клеток i -го агента ($A_i(t - 1)$) с вероятностью D_j переходят в состояние a . Считается количество прилипших (перешедших в состояние a) к каждому агенту клеток c ($V_i(t)$). Определяется количество всех клеток c , коснувшихся каждого проекта $A_i(t - 1)$ ($P_i(t)$), $P_i(t) = V_i(t) / D_j$.

3. Отлипание – процесс перехода с вероятностью S_k совокупности клеток ($A_i(t - 1) + V_i(t)$) во внешнюю среду c . После отлипания считается количество клеток a в совокупности клеток i -го агента $A_i(t)$. Считается количество клеток свободного ресурса ($C(t)$).

4. Все указанные процессы визуализируются на экране ЭВМ в виде графической фиксации роста совокупности клеток агента в модели за каждый цикл t (рис. 1).

В результате указанных действий и расчетов имеем массивы данных $A_i(t)$, $P_i(t)$, $C(t)$, а также изображение каждого проекта в динамике роста. $A_i(t)$ – активы i -го агента модели, $P_i(t)$ – объем продаж i -го агента модели, $C(t)$ – количество свободного ресурса.

По окончании пункта 4 цикл повторяется.

Сумма клеток всех видов $\{a\} + \{c\} + \{o\} = M \times M$. Для исключения влияния эффектов переходов клеток квадратная решетка на границе имеет периодические граничные условия и замкнута в тор [7].

$\{a\} + \{c\} = \text{const}$ – закон сохранения ресурса в модели (для $\forall t$).

Пример результатов расчетов полного жизненного цикла (до исчерпания платежеспособного спроса, который не возобновляется) для одного агента представлен на рис. 1, б. Проведен эксперимент, в котором на поле размером 100 на 100 ячеек ($M \times M = 10\,000$ клеток) при $P_j = 0,5$; $S_k = 0,2$; $R = 0,7$ в течение 100 циклов ($T = 100$) разбивается один агент.

В рассматриваемом процессе агент накапливает активы ($A_i(t)$) (рис. 1, а), поглощая ресурсы внешней среды ($C(t)$) (рис. 1, а). Модель фиксирует развитие агента в цифровой и графической формах. Цифровые данные эксперимента визуализированы на рис. 1, а, в). Графическое развитие агента на разных этапах его жизненного цикла: I этап в момент $\tau = 10$; II этап – $\tau = 30$; III этап – $\tau = 50$; IV этап – $\tau = 70$; V этап – $\tau = 90$, иллюстрирует рис. 1, б. На рис. 1, в показана типичная зависимость продаж в единицу

времени ($P(t)$) одного моделируемого агента от времени ($t = [0; T]$) в условиях эксперимента. Кривая продаж в единицу времени не является гладкой вследствие вероятностного характера процесса.

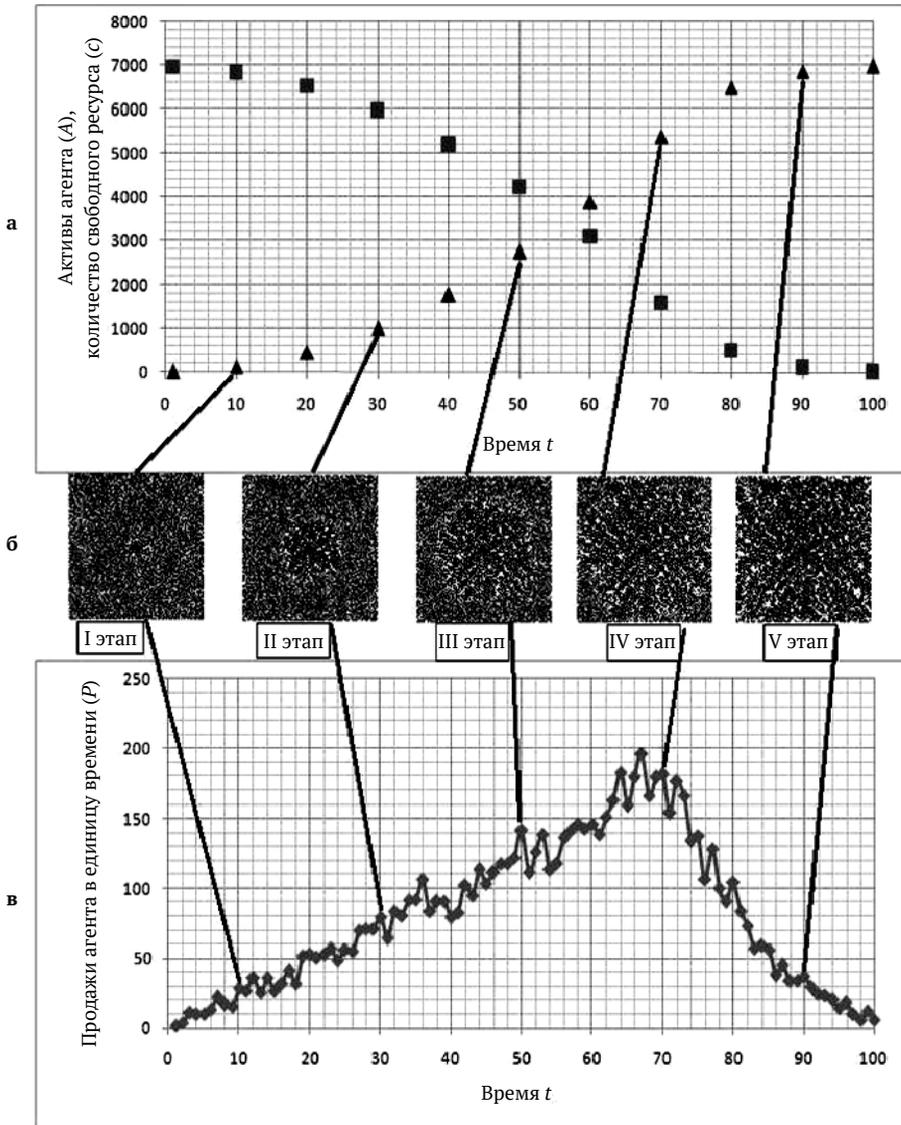


Рис. 1. Этапы жизненного цикла экономического агента в КА-модели:
 а – динамика активов агента и свободного ресурса;
 б – иллюстрация роста агента в среде клеточных автоматов; в – динамика продаж агента;
 ▲ – накопление активов; ■ – поглощение ресурсов внешней среды

Проявление линейного роста обусловлено тем, что агент осваивает столько ресурсов, сколько позволяют заданные правила и параметры модели. Этапы I–IV характеризуются монотонным трендом роста выходных параметров P . В эксперименте после прохождения этапов III ($\tau = 50$) и IV ($\tau = 70$) наступает переломный момент, когда количество ресурсов (платежеспособный спрос) уравнивается с размером агента, и на этой стадии прирост активов агента начинает замедляться. Можно сделать вывод, что причина линейного роста агента на стадиях I–IV кроется в количественных возможностях

ресурсной базы внешней среды, а последующее замедление роста связано с уменьшением ресурсной базы, доступной для агента. Получаемые зависимости качественно соответствуют эмпирической реальности.

Изучение этапа быстрого роста экономических агентов

Проверяя гипотезу А. Ю. Юданова в КА-модели, можно учесть последовательную реализацию нескольких агентов, которые в дальнейшем будут соотноситься с проектами моделируемой «газели». Для этого в модели предусмотрена идентификация численных значений (активы, объем продаж) проектов, запущенных в разные моменты времени ($\tau \in t$).

Проведен эксперимент: на поле размером 700 на 700 ячеек ($M \times M = 490\,000$ клеток) при $P_j = 0,5$; $S_k = 0,25$; $R = 0,75$ в течение 500 циклов ($T = 500$) развивается пять проектов, инициализированных через равновеликие интервалы времени. Время запуска проектов: 1-го – $\tau = 1$; 2-го – $\tau = 50$; 3-го – $\tau = 100$; 4-го – $\tau = 150$; 5-го – $\tau = 200$. Исследуемые величины: активы проектов $A_i(t)$; платежеспособный спрос рынка $C(t)$; объем продаж i -го проекта в единицу времени $P_i(t)$; совокупный объем продаж экономической «газели» $G(t)$.

$G(t)$ – сумма величин продаж в единицу времени каждого проекта ($G(t) = \sum_i^N P_i(t)$). На рис. 2 представлены графические данные результатов моделирования объемов продаж.

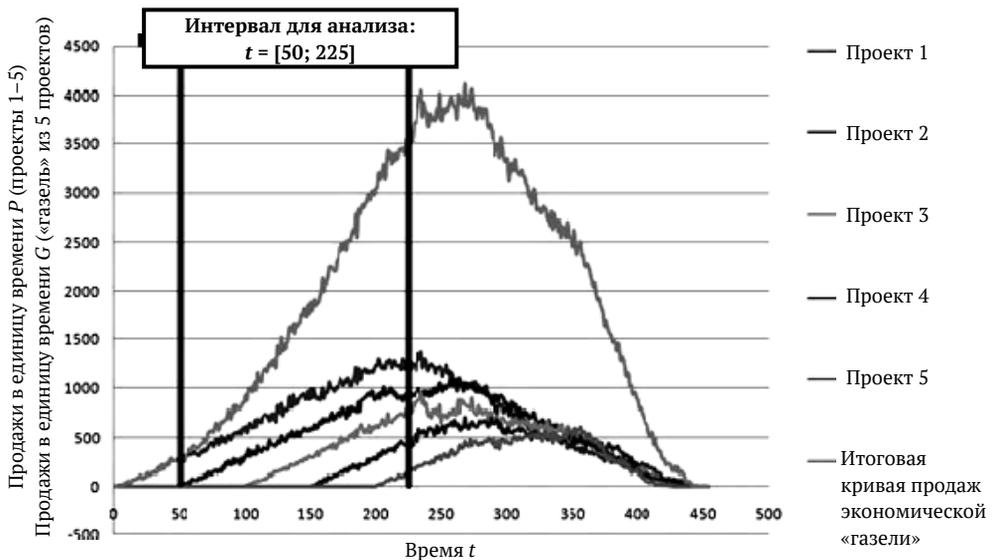
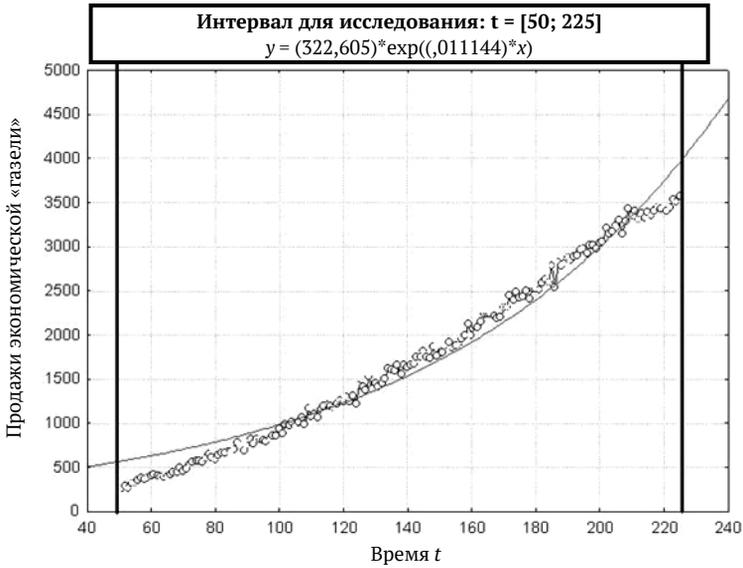


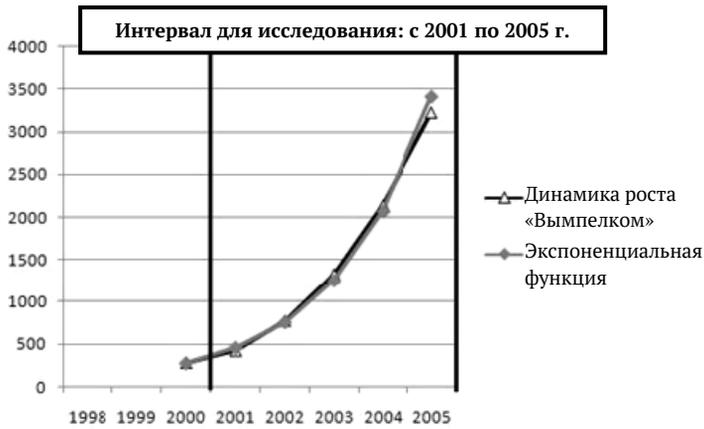
Рис. 2. Продажи в единицу времени «газели» (пять проектов)

Начальный этап роста (от начала процесса роста до экстремума куполообразной кривой) в указанном эксперименте иллюстрирует высокую скорость роста. Изучение динамики итогового объема продаж моделируемой «газели» проводится на интервале данных $t \in [50; 225]$, так как из графика (рис. 2) видно, что рост G на участке $t \in [0; 49]$ монотонный (это «латентный» период, когда у «газели» развивается только 1 проект). 175 значений линеаризуются, и с помощью метода наименьших квадратов проводится вычисление параметров функции $Y = B \times e^{At}$, используемой А. Ю. Юдановым при анализе динамики роста российских «газелей».

Аппроксимация экспоненциальной кривой $Y = B \times e^{At}$ и исследование А. Ю. Юдановым динамики роста компании «Вымпелком» представлены на рис. 3.



а



б

Рис. 3. Аппроксимация динамики роста экспоненциальной функцией:
 а – аппроксимация динамики роста функцией вида $Y = B \times e^{At}$;
 б – аппроксимация рыночных данных (ЗАО «Вымпелком»)

В дополнение вышесказанного можно добавить, что коэффициент детерминации моделируемого объема продаж «газели» (G) и теоретической функции $Y = B \times e^{At}$ (рис. 3, а) $R^2 = 0,9737$ при $Y = 322,605 \times e^{0,11144t}$. Эта величина достоверности аппроксимации проявляется в эмпирических данных и у фирм-«газелей»: $R^2 = (0,90; 0,99)$.

Например, у оператора сотовой связи ЗАО «Вымпелком» график объемов продаж состоит из меньшего количества точек (рис. 3, б), однако форма экспоненциальной зависимости $Y = 176,84 \times e^{0,4847t}$ и $R^2 = 0,9967$.

Данные аргументы позволяют сделать вывод, что и теоретическая (модельная) экономическая «газель», и рыночный пример оператора сотовой связи совпадают по виду функции и коэффициенту детерминации.

Заключение

Экономические эксперименты слишком дороги. Информацию по проектам, реализуемым в компании, проблематично получить в связи с коммерческой тайной. Имеющиеся данные, например количество выпущенных пар обуви, годовой оборот, порой единственные показатели, которые используются для отнесения фирмы в класс «газелей» или «не газелей».

Одного критерия ежегодного роста российских фирм на 30% в течение 4 лет подряд недостаточно. Высказанная гипотеза о быстром росте «газелей» при запуске нескольких проектов с помощью модели Лотки–Вольтерра А. Ю. Юдановым подверглась критике. Применение математических (численных) методов необходимо, и это показано в статье, что позволяет изучать «газели» как экономический феномен с различных сторон. В рамках агенториентированной модели роста «газели» удается доказать верность гипотезы, напрямую смоделировав последовательную реализацию нескольких проектов, и подтвердить наличие участков быстрого роста объемов продаж на начальной стадии жизненного цикла «газели».

Используя сравнительно небольшой набор данных о компании (минимум 4 года), можно с помощью математической модели экспоненциального роста $Y = B \times e^{At}$ выделить компанию-«газель». Располагая дополнительной информацией о количестве проектов на предприятии, состоянии их жизненного цикла, успешности каждого направления, можно будет осуществлять адресную поддержку истинных «спринтеров». Таким образом, будет осуществляться устойчивое развитие экономики всех уровней и обеспечиваться прирост ВВП.

Исследование было проведено на средства, полученные в результате победы в конкурсе на проведение научных исследований молодыми учеными Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина.

Источники

1. Бёрч Д. Создание работы в Америке: как наши самые маленькие компании трудоустраивают большую часть населения. М., 1978.
2. Юданов А. Ю. Опыт конкуренции в России: причины успехов и неудач. М.: ИНТРАСТ, 2007.
3. Юданов А. Ю. Уравнение Лотки–Вольтерра и модель эволюции быстрорастущих компаний: доклад на I Всероссийском конгрессе по эконофизике (3–4 июня 2009 г.). Режим доступа : www.econophysics.nayk.ru/sites/default/files/2009-02/20.yudanov.ppt.
4. Борцев А. А. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика // Exponenta PRO. 2004. № 3–4.
5. Куперин Ю. А. Естественнонаучный подход к экономической динамике: эконофизика. Режим доступа : www.novainfo.ru/kUA.
6. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р. Новый инструмент в общественных науках – агенториентированные модели // Экономика и управление. 2009. № 12(50).
7. Тоффоли Т., Марголуз Н. Машины клеточных автоматов. М. : Мир, 1991.
8. Кравцевич К. В., Берг Д. Б., Лапина С. Н. Жизненный цикл и рост «газелей» в имитационной модели: экспоненциальный рост // Труды Междунар. науч. школы-семинара имени академика С. С. Шаталина. Вологда, 2009.
9. Берг Д. Б. Эволюционные модели роста в условиях ограниченных ресурсов // Эволюционная экономика и «мэйнстрим» / под ред. Л. И. Абалкина. М. : Наука, 2000.
10. Berg D. B., Popkov V. V. General numerical model of the competition life cycle: from physics to economy // Physica A: Statistical mechanics and its applications. 2003. Vol. 324.