

Для цитирования: Экономика региона. — 2016. — Т. 12, Вып. 1. — С. 64-77  
doi 10.17059/2016-1-5  
УДК 303.823+334.7

Г. Д. Боуш<sup>а)</sup>, О. М. Куликова<sup>б)</sup>, И. К. Шелков<sup>б)</sup>

<sup>а)</sup> Омская гуманитарная академия (Омск, Российская Федерация)

<sup>б)</sup> Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (Омск, Российская Федерация)

## АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КЛАСТЕРООБРАЗОВАНИЯ В РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ<sup>1</sup>

*Предмет исследования — процессы стихийного кластерообразования в региональной экономике. Цель — разработка и апробация алгоритма моделирования данных процессов. Гипотеза исследования предполагает, что процессы стихийного кластерообразования в социально-экономической среде протекают не линейно, а скачкообразно. Применены следующие методы: агентное имитационное моделирование с применением алгоритмов FOREL, k-means. Алгоритм моделирования реализован на языке программирования Python 3.*

*Выявлены закономерности протекания процессов кластерообразования в регионе: 1) с усилением интенсивности процессов кластерообразования во времени происходит повышение однородности продукции; 2) повышение уровня однородности продукции в кластере приводит к сглаживанию различий в поведении покупателей; 3) производители высокодифференцированной продукции либо снижают уровень ее дифференцированности, либо выбывают из состава кластера; 4) для процессов кластерообразования характерны этапы спокойного функционирования, их смена сопровождается возникновением точек бифуркаций; 5) активизация процессов кластерообразования в региональной экономике приводит к увеличению доходов и прибыли участников кластера, как производителей, так и потребителей, а также к росту значений синергетического эффекта. Данные результаты свидетельствуют о нелинейности процессов кластерообразования и неоднозначности эффектов от их протекания. Выводы: 1) моделирование процессов стихийного кластерообразования в региональной экономике показало, что они протекают нелинейно, за периодами относительно спокойного поступательного развития происходят скачки; 2) кластеризация региональной экономики приводит к росту показателей эффективности деятельности субъектов, вовлеченных в кластерные структуры; 3) для инициирования и активизации процессов кластерообразования требуется определенное качество среды.*

**Ключевые слова:** региональная экономика, региональные кластеры, стихийное кластерообразование, агентное имитационное моделирование, модель стихийного кластерообразования в региональной экономике, агенты-производители, агенты-поставщики, агенты-покупатели, алгоритм моделирования стихийного кластерообразования в региональной экономике, закономерности стихийного кластерообразования в региональной экономике

### Введение

Вопросы моделирования закономерностей развития региональных кластерных структур весьма актуальны для стран, применяющих кластерный подход. Это обусловлено потребностью в повышении эффективности управления формированием и развитием кластеров с учетом целей и задач региональной экономической политики. Тем не менее, несмотря на высокую разработанность кластерной проблематики в научной литературе, закономерности стихийного возникновения и развития региональных кластеров остаются слабо-

зученными. Вследствие этого не удается в полной мере учитывать их в проектах целенаправленного формирования и поддержки развития кластерных структур. Для наиболее масштабного генерирования кластерами положительных экстерналий это совершенно необходимо.

Дальнейшее развитие теории региональных кластеров и практики реализации кластерного подхода требует имитационного моделирования процессов кластерообразования, что актуализирует задачу поиска соответствующего методологического инструментария.

Библиографический поиск показал, что в последние годы предпринимались попытки моделирования сущностных аспектов кластеров [1], процессов их формирования [2–9], в

<sup>1</sup> © Боуш Г. Д., Куликова О. М., Шелков И. К. Текст. 2016.

том числе вопросов самоорганизации [10–12], внутрикластерных взаимодействий [13–16], механизма функционирования кластеров [17], системы внутрикластерных целей [6], жизненного цикла [18–23], энтропийных процессов, вопросов деградации и распада кластерных структур [7, 21, 24] и др.

В указанных работах использовались сети Петри [3], двумерное статистическое распределение (*bivariate distributions*) [15], тест на отклонение остатков Морана (*deviance residual Moran's I test*) [11], одно- и двумерная геометрия (*one- twodimensional geometry*) [8], агентное моделирование (*agent-based*) [9, 13], недетерминированная модель (*nondeterministic model*) [20], модель Лотки — Вольтерра (*Lotka — Volterra model*) [23], теория игр [16], теория сетей [24].

Анализ показал, что закономерности и этапы процессов кластерообразования в региональной экономике пока остаются недостаточно изученными, в недостаточной степени разработан математический аппарат для расчета основных показателей кластеров, обусловливаемых поведением их участников. Вышеуказанное определило цель исследования — разработку и апробацию алгоритма моделирования процессов кластерообразования в региональных экономических системах.

### Теория и методология

В рамках теории систем региональные кластеры понимаются как совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов [25]; в рамках теории хаоса — как объекты, находящиеся в сильной зависимости от исходных условий, незначительные изменения во внешней среде приводят к непредсказуемым последствиям в них [26, 27].

Кластеризация — один из универсальных способов объединения отдельных частей в единое целое, широко распространена в природе, обществе, в том числе — в социально-экономической среде. Кластерообразование — стихийный процесс, определяемый средой, которая может активизировать, сдерживать или подавлять его.

Распознавание кластерного феномена и последующая разработка экономической кластерной концепции привели к тому, что наряду со стихийно образующимися кластерами в региональной экономике появились целенаправленно созданные. Таким образом, в современных региональных экономиках протекают процессы кластерообразования двух типов — стихийные и управляемые. Дальнейшее осмысление причин, условий и факторов, обу-

словливающих кластеризацию региональной экономики, позволит понять, какие преобразования в ней требуются для активизации процессов кластерообразования, и повысить эффективность кластерных проектов.

В распоряжении авторского коллектива имеется комплекс моделей, описывающих на категориальном уровне существенные аспекты кластеров, их универсальные компонентно-элементный состав, организационную структуру, механизм функционирования и др. [28]

В статье под региональным кластером понимается неинституционализированное объединение самостоятельных хозяйствующих субъектов, осуществляющих совместную деятельность, основанное на близости (территориальной, отраслевой, культурной), взаимодополняемости (продуктовой, ресурсной, процессной), взаимосвязанности потоками (материальными, нематериальными, информационными [28, с. 162]). Под кластерообразованием понимается процесс возникновения и развития кластерных структур, под агентом — субъект экономической деятельности, характеризующийся наличием потребностей, ресурсов, определенным поведением, задаваемым правилами «условие — действие» [29], под синергетическим эффектом — дополнительное увеличение объемов продаж (выпуска продукции), полученное в ходе процессов кластерообразования<sup>1</sup>.

Взаимодействие агентов в кластере происходит следующим образом. Один или несколько наиболее успешных производителей задают параметры выпускаемой продукции. Информация распространяется по коммуникационным каналам, в результате чего производители, входящие в кластер, также изменяют параметры выпускаемой продукции, что приводит к увеличению продаж. Этому способствует также реклама, являющаяся частью коммуникаций между агентами в кластере.

Агенты играют роль как производителей, так и потребителей. Агент-потребитель приобретает необходимый объем продукции, исходя из имеющихся у него предпочтений и финансовых средств. Продукция для него обладает привлекательностью разного рода: общей, характеризующей ее как потенциально привлекательную, и предпочтительной, определяющей выбор продукции при покупке. В процессе купли-продажи осуществляется комму-

<sup>1</sup> Бушуева М. А. Синергия в кластере // Наукоедение : сетевой журнал. 2012. 4 [Электронный ресурс] URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/122evn412.pdf> (дата обращения: 16.11.2014).

никация между агентом-производителем и агентом-потребителем, направленная на привлечение внимания агента-потребителя, помощь в выборе и стимулирование покупки. Затраченные агентом-потребителем на покупку финансовые средства поступают в распоряжение агента-производителя, их запас пополняется в рамках хозяйственной деятельности, зависит от внешних экономических условий.

Процесс кластерообразования протекает, по нашему представлению, следующим образом. На первом этапе происходит формирование ядра кластера из производителей, имеющих сходные характеристики деятельности, например, производственные технологии, издержки, потребляемые ресурсы, уровень инновативности и т. д. Затем в протокластере усиливаются информационные и ресурсные потоки, что привлекает к ядру кластера поставщиков ресурсов и потребителей. В результате образуется сетевая структура, обеспечивающая коммуникационный, ресурсный и продуктовый обмен.

Разработанный авторским коллективом алгоритм моделирования процессов кластерообразования в региональной экономической системе (далее — Алгоритм) предполагает моделирование процессов взаимодействия агентов в кластере с учетом их типов и групп, условий среды, а также результатов протекания процессов кластерообразования, включая синергетический эффект.

### Модель

В имитационной модели участниками процессов кластерообразования выступают три типа агентов:

- 1) агенты-производители (продукции);
- 2) агенты-поставщики (ресурсов);
- 3) агенты-потребители (продукции).

Принято допущение, что все агенты-производители, участвующие в процессе кластерообразования, выпускают один (или сходные) вид продукции, агенты-поставщики — поставляют один (или сходные) вид ресурсов, агенты-потребители — приобретают один (или сходные) вид продукции.

Каждый тип агентов характеризуется определенными показателями, которые выбраны авторами на основе анализа современных моделей, описывающих поведение агентов на отраслевых рынках (модели олигополии, конкурентного взаимодействия, линейного и кругового города, многопериодная модель ценообразования и др. [30]). Круг выбранных

показателей описывает процессы производства и приобретения продукции, которые обуславливают формирование и развитие связей между производителями и покупателями, то есть протекание процессов кластерообразования в региональной экономике, что дает основание квалифицировать их как необходимые и достаточные для моделирования данных процессов. Ниже приведено описание показателей, используемых в модели.

Основные характеристики агентов-производителей используются для моделирования процесса формирования ядра кластера, задается вектором  $Z_{\text{прт}} = \|z_{\text{прт}}\|$ , в основе которого лежат комплексные показатели инновативности, определяемые экспертным путем (инновационная компетентность, качество организации и общения, инновационная восприимчивость, ресурсное обеспечение [31]). Принято допущение, что данные характеристики остаются постоянными на всем периоде моделирования.

*Общая привлекательность продукции* задается вектором  $P_{\text{п}} = \|p_{\text{п}}\|$ . В него входят показатели, определяемые на основании анализа деятельности исследуемого кластера и продукции, на котором он специализируется: цена единицы продукции в денежных единицах; уровень технологичности продукции, задаваемый экспертным методом (1 — низкий, 2 — средний, 3 — высокий); качество продукции, задаваемое экспертным методом (1 — низкое, 2 — среднее, 3 — высокое). Вектор меняется при реструктуризации производства в заданные такты модельного времени.

*Общая привлекательность ресурсов* задается вектором  $P_{\text{срп}} = \|p_{\text{срп}}\|$ . В него входят следующие показатели: цена единицы ресурса в денежных единицах; доступность и качество ресурса, задаваемые экспертным методом (1 — низкая, 2 — средняя, 3 — высокая); качество ресурса, задаваемое экспертным методом (1 — низкое, 2 — среднее, 3 — высокое).

*Предпочтительная привлекательность продукции* задается вектором  $P_{\text{пра}} = \|p_{\text{пра}}\|$ , *предпочтительная привлекательность ресурсов* — вектором  $P_{\text{нрп}} = \|p_{\text{нрп}}\|$ . Они определяются аналогично векторам общей привлекательности.

*Пороговое значение расстояния приобретения продукции (ресурсов)* задается путем расчета евклидова расстояния. Им определяется минимальное расстояние между векторами общей и предпочтительной привлекательности, при котором агент-потребитель приобретает продукцию, а агент-производитель — ресурсы.

*Объем финансовых средств в начальный такт модельного времени* задается для агентов-про-

изготовителей и агентов-поставщиков и определяет начальные значения финансовых средств, которые они могут расходовать на приобретение ресурсов (продукции).

Показатель «*финансовые средства, планируемые для приобретения продукции (ресурсов)*» задается для агентов-производителей продукции и агентов-потребителей. Значение данного показателя для агентов-производителей в каждый такт модельного времени определяется по формуле:

$$f_{\text{прес}} = c_{\text{pi}} \times v_{\text{необ.р}} \times v_{\text{прт}} \quad (1)$$

где  $c_{\text{pi}}$  — цена единицы ресурса, ден. ед.;  $v_{\text{необ.р}}$  — необходимый объем ресурсов для изготовления единицы продукции, ед.;  $v_{\text{прт}}$  — выпускаемый в такт времени объем продукции, ед.

Финансовые средства, планируемые для приобретения продукции для агентов-потребителей, задаются экспертным путем.

Объем произведенной продукции (ресурсов) задается для каждого такта модельного времени, определяется потребностями агентов-потребителей. В модели принято допущение, что вся произведенная агентами-производителями продукция приобретает агентами-потребителями. Объем произведенной продукции вычисляется по формуле:

$$v_{\text{прт}} = \frac{\sum_{m=1}^M f_{\text{плпр}}}{c_{\text{прод}}} v_{\text{прт}}, \quad (2)$$

где  $f_{\text{плпр}}$  — объем финансовых средств, планируемых агентом-потребителем для приобретения продукции, ден. ед.;  $M$  — число агентов-потребителей, желающих приобрести продукцию;  $c_{\text{прод}}$  — цена единицы продукции, ден. ед. за ед. продукции.

Объем финансовых средств, полученных в такт модельного времени задается для всех типов агентов: для агентов-потребителей — как поступление финансовых средств в такт модельного времени путем получения заработной платы, доходов от деятельности и пр.; для агентов-производителей и агентов-поставщиков — по формуле:

$$f_{\text{получ}} = c_{\text{прод}} \times v_{\text{прт}}. \quad (3)$$

Расходы финансовых средств в такт модельного времени определяются как затраты на приобретение ресурсов, продукции, реструктуризацию производства, и пр.

Прибыль от реализации продукции (ресурсов) в такт модельного времени определяется по формуле:

$$w_t = f_{\text{получ}} - h_{\text{расхт}}, \quad (4)$$

где  $f_{\text{получ}}$  — доходы от реализации продукции (ресурсов) в такт модельного времени, ден. ед.;  $h_{\text{расхт}}$  — расходы на производство в такт модельного времени, ден. ед.

Остаток финансовых средств в такт модельного времени задается для всех типов агентов по формуле:

$$f_{\text{остт}} = f_{\text{остт-1}} + f_{\text{получ}} - h_{\text{расхт}}, \quad (5)$$

где  $f_{\text{остт-1}}$  — остаток финансовых средств на предыдущем такте модельного времени, ден. ед.;  $f_{\text{получ}}$  — доходы агента в текущий такт модельного времени, ден. ед.;  $h_{\text{расхт}}$  — расходы агента в текущий такт модельного времени.

Процесс кластерообразования, как указано выше, начинается с формирования ядра кластера. В имитационной модели агенты-производители объединяются в первый из кластерообразующих компонентов на основании расчета расстояний между ними (в Алгоритме использовано евклидово расстояние) по матрице основных характеристик для каждого такта модельного времени. Выделение ядра формирующегося кластера осуществляется с применением алгоритма *FOREL*. Ядро кластера может быть не выделено в случае, если агенты-производители существенно отличаются по характеристикам. Моделирование взаимодействия агентов осуществляется на примере одного кластера.

На начальных тактах моделирования предполагается, что процессы кластерообразования не начались, производство и продажа продукции осуществляются отдельными агентами-производителями, между которыми отсутствует информационный обмен, не внедряются инновационные технологии. Длительность начального этапа задается пользователем.

С целью определения оптимального вектора общей привлекательности продукции проводятся маркетинговые исследования. В имитационной модели используется построение математических кластеров агентов-потребителей с применением алгоритма *k-means*. Правила проведения маркетингового исследования (количество выделяемых кластеров и стоимость проведения исследования) задаются пользователем. Оптимальный вектор общей привлекательности продукции представляет собой профиль построенного математического кластера.

По результатам маркетинговых исследований проводится реструктуризация производства путем внедрения инновационных технологий, что влияет на параметры производимой продукции. Правила реструктуризации производства задают шаг изменения вектора общей

привлекательности продукции для заданного такта модельного времени с учетом значений оптимального вектора общей привлекательности продукции.

В имитационной модели могут задаваться параметры рождения и гибели агентов. Эти процессы происходят с учетом заданных законов роста.

Группы показателей моделирования процессов кластерообразования имеют следующие характеристики.

*Характеристики типов и классов агентов* задаются либо пользователем, либо с помощью генератора случайных чисел. В первом случае задаются классы агентов каждого из типов (производители, поставщики, потребители), определяющие количество агентов с одинаковыми (сходными) показателями. Также задается число классов агентов и число агентов в каждом классе.

*Закон рождения (гибели) агентов* определяет рост (уменьшение) числа агентов разных типов и классов. Может быть принят закон экспоненциального роста либо иной.

*Показатели привлекательности продукции (ресурсов)* для всех классов агентов задаются пользователем либо с помощью генераторов случайных чисел, если классы данных агентов не заданы.

*Пороговое значение расстояния приобретения продукции (ресурсов)* определяет минимальное пороговое значение расстояния между векторами общей и предпочтительной привлекательности продукции (ресурса).

*Правила маркетинговых исследований* задаются показателями количества выделяемых математических кластеров агентов-потребителей и стоимостью проведения маркетингового исследования.

*Правила реструктуризации производства* задаются шагом изменения параметров общей привлекательности производимой продукции (ресурсов) при внедрении инновационных технологий и модернизации продукции.

*Параметры модельного времени* задают период моделирования и шаг модельного времени.

*Показатели процесса кластерообразования* определяют начало процесса кластерообразования и интенсивность информационного потока для каждого такта модельного времени.

В модели заданы следующие виды тактов модельного времени: нулевой —  $t_0$ ; простое взаимодействие агентов —  $t_{нк}$ ; начало процессов кластерообразования —  $t_k$ ; маркетинговое исследование —  $t_{мк}$ ; реструктуризация произ-

водства без вывода на рынок модифицированной продукции —  $t_{рк}$ ; вывод на рынок модифицированной продукции без реструктуризации производства —  $t_{мпк}$ ; вывод на рынок модифицированной продукции с реструктуризацией производства —  $t_{мпрк}$ ; рекламные мероприятия —  $t_{рек}$ ; изменение правил поведения у агентов-потребителей —  $t_{измпов}$ .

В результате имитационного моделирования определяются следующие показатели:

— объем производимой агентами-производителями продукции (на начальном этапе, на этапе кластерообразования, за весь период моделирования);

— объем создаваемых ресурсов агентами-производителями (на начальном этапе, на этапе кластерообразования, за весь период моделирования);

— показатели движения финансовых средств (на начальном этапе, на этапе кластерообразования, за весь период моделирования);

— синергетический эффект.

Синергетический эффект может быть рассчитан для определенного этапа кластерообразования по следующей формуле:

$$S = v_{преб1} - v_{преб0}, \quad (6)$$

где  $v_{преб1}$  — объем реализованной агентами-производителями продукции на текущем этапе кластерообразования  $b_1$ ;  $v_{преб0}$  — объем реализованной агентами-производителями продукции на предыдущем этапе кластерообразования  $b_0$ .

Моделирование процессов кластерообразования в региональной экономике осуществляется по следующему алгоритму.

*Этап 1.* Задание исходных параметров моделирования: типы агентов, классы, их количество, характеристики и пр.

*Этап 2.* Построение ядра кластера.

*Этап 3.* Задание характеристик процесса кластерообразования, поведения агентов для каждого такта модельного времени.

Шаг 3.1. Задание тактов модельного времени.

Шаг 3.2. Моделирование поступления ресурсов к агентам в начальный момент времени  $t_0$ .

Шаг 3.3. Если задан такт  $t_{нк}$  — выполняется переход к шагу 3.4;  $t_k$  — переход к шагу 3.14;  $t_{мк}$  — переход к шагу 3.16;  $t_{рк}$  — переход к шагу 3.19;  $t_{мпк}$  — переход к шагу 3.22;  $t_{мпрк}$  — переход к шагу 3.24;  $t_{рек}$  — переход к шагу 3.28;  $t_{измпов}$  — переход к шагу 3.31.

Шаг 3.4. Расчет расстояний между векторами общей привлекательности и предпочтительной привлекательности продукции.

Шаг 3.5. Выделение классов агентов-потребителей с учетом порогового значения расстояния приобретения продукции.

Шаг 3.6. Расчет значений производства продукции агентами-потребителями для каждого агента-производителя или класса агентов-производителей.

Шаг 3.7. Расчет необходимых ресурсов для каждого агента-производителя или класса агентов-производителей.

Шаг 3.8. Расчет расстояний между векторами общей привлекательности и предпочтительной привлекательности ресурсов.

Шаг 3.9. Выбор агентов-поставщиков с учетом порогового значения расстояния приобретения ресурсов и приобретение у них ресурсов.

Шаг 3.10. Производство продукции агентами-производителями. Расчет показателей создаваемых ресурсов, использования финансовых средств при взаимодействии агент-поставщик — агент-производитель.

Шаг 3.11. Выпуск продукции на рынок и приобретение ее агентами-потребителями.

Шаг 3.12. Расчет значений финансовых потоков агентов, ресурсных потоков, потоков продаж (приобретения) продукции.

Шаг 3.13. Переход к шагу 3.3.

Шаг 3.14. Изменение показателя интенсивности информационного внутрикластерного потока с учетом исходных данных.

Шаг 3.15. Переход к шагу 3.3.

Шаг 3.16. Проведение маркетингового исследования: выполнение кластерного анализа, построение профилей построенных математических кластеров.

Шаг 3.17. Расчет значений финансовых средств у агентов-производителей.

Шаг 3.18. Переход к шагу 3.3.

Шаг 3.19. Реструктуризация производства, осуществляемая путем внедрения новых технологий. Изменение профиля общей привлекательности продукции с учетом значений реструктуризации.

Шаг 3.20. Расчет значений финансовых средств у агентов-производителей.

Шаг 3.21. Переход к шагу 3.3.

Шаг 3.22. Вывод на рынок продукции, модифицированной в рамках реструктуризации производства.

Шаг 3.23. Переход к шагу 3.3.

Шаг 3.24. Реструктуризация производства, осуществляемая путем внедрения новых технологий. Изменение профиля общей привлекательности продукции с учетом значений реструктуризации.

Шаг 3.25. Вывод на рынок продукции, модифицированной в результате реструктуризации производства.

Шаг 3.26. Расчет значений финансовых средств у агентов-производителей.

Шаг 3.27. Переход к шагу 3.3.

Шаг 3.28. Изменение интенсивности внутрикластерного рекламного потока с учетом исходных данных.

Шаг 3.29. Расчет значений финансовых средств у агентов-производителей.

Шаг 3.30. Переход к шагу 3.3.

Шаг 3.31. Изменение профиля предпочтительной привлекательности у заданной группы (числа) агентов-потребителей с учетом интенсивности внутрикластерного рекламного потока и исходных данных.

Шаг 3.32. Переход к шагу 3.3.

*Этап 4.* Расчет выходных показателей результатов имитационного моделирования (для каждого такта модельного времени и результирующих показателей).

*Этап 5.* Расчет синергетического эффекта кластерообразования.

Шаг 5.1. Расчет значений абсолютного отклонения по выходным показателям моделирования.

Шаг 5.2. Определение максимальных расчетных значений абсолютных отклонений.

Шаг 5.3. Нахождение точек бифуркаций.

Шаг 5.4. Расчет значений синергетического эффекта для каждого этапа процесса кластерообразования.

*Этап 6.* Когнитивная визуализация результатов моделирования.

Алгоритм реализован на языке программирования Python 3.

### Результаты

Исходные данные для моделирования приведены на рис. 1.

Моделирование взаимодействия осуществляется только для двух типов агентов (агентов-производителей и агентов-потребителей) как необходимого и достаточного числа для активизации процессов кластерообразования. В моделировании задано два класса агентов-производителей и четыре класса агентов-потребителей. Число агентов в течение модельного времени остается неизменным.

В начальный момент модельного времени агенты-производители 1-го класса имеют финансовые средства в размере 1000 денежных единиц, агенты-производители 2-го класса — 1500 денежных единиц. Производимая агентами-производителями 1-го класса продук-

Тип агентов	Кол-во классов	Параметры рождения/гибели			
Агенты-производители	2	Число агентов постоянно			
Агенты-поставщики	0				
Агенты-потребители	4				
<i>1) Характеристики агентов-производителей</i>					
		Класс 1	Класс 2		
Инновационная компетентность, балл		7	7		
Качество организации и общения, балл		8	8		
Инновационная восприимчивость, балл		8	8		
Ресурсное обеспечение, балл		10	10		
Финансовое обеспечение (на начальном этапе моделирования)		1000	1500		
Параметры общей привлекательности продукции (на начальном этапе моделирования):					
Цена, ден. ед.		6	10		
Технологичность, балл		1	1		
Качество, балл		1	2		
Стоимость изготовления единицы продукции, ден. ед.		5	7		
<i>2) Характеристики агентов-потребителей</i>					
	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	
Количество агентов, ед.	12	20	2	5	
Финансовые средства, планируемые для приобретения продукции, ден. ед.	40	30	50	50	
Показатели предпочтительной привлекательности планируемой к приобретению продукции:					
Цена, ден. ед.	5	3	9	5	
Технологичность, балл	2	1	3	3	
Качество, балл	1	1	3	3	
Пороговое значение расстояния приобретения продукции	2,9				
<i>Правила маркетингового исследования</i>					
Количество выделяемых математических кластеров среди агентов-потребителей, ед.					2
Стоимость маркетингового исследования для каждого класса агентов-производителей, ден. ед.					80
<i>Правила реструктуризации производства</i>					
Агенты-производители	Класс 1			Класс 2	
Номер такта модельного времени	5	7	5	7	
Изменение цены, ден. ед.	-2	0	2	4	
Изменение технологичности, балл	0	0	2	0	
Изменение качества, балл	0	0	0	0	
Цена реструктуризации производства, ден. ед.	700	0	800	800	
<i>Параметры модельного времени</i>					
Период моделирования, тактов модельного времени					8
Шаг модельного времени, такт					1
Показатели процесса кластеризации					
Начало процесса кластеризации, такт модельного времени					3
Номер такта модельного времени			1-3	3-7	8
Интенсивность информационного потока, балл			0	2	2

**Рис. 1.** Карта исходных данных для моделирования процессов кластерообразования в региональной экономической системе

ция имеет низкую цену (6 денежных единиц), низкие значения технологичности и качества, агентами-производителями 2-го класса продукция — более высокую цену (10 денежных единиц), более высокое качество, низкую тех-

нологичность. Стоимость изготовления единицы продукции у агентов-производителей 1-го класса составляет 5 денежных единиц, агентами-производителями 2-го класса — 6 денежных единиц.

Таблица 1

## Характеристика тактов модельного времени в вычислительном эксперименте

Номер такта модельного времени	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Обозначение такта модельного времени	$t_0$	$t_{нк}$	$t_{нк}$	$t_k$	$t_{мк}$	$t_{рк}$	$t_{мпрк}$	$t_{мнк}$	$t_{нк}$

За один такт модельного времени агенты-потребители 1-го класса, в количестве 12 единиц готовы потратить 40 денежных единиц на приобретение недорогой продукции среднего уровня технологичности и низкого качества, агенты-потребители 2-го класса в количестве 20 единиц — 30 денежных единиц на приобретение продукции низкого качества, низкого уровня технологичности за невысокую стоимость, агенты-потребители 3-го класса в количестве 2 единиц — 50 денежных единиц на приобретение дорогой продукции высокого качества и технологичности, агенты-потребители 4-го класса в количестве 5 единиц — 50 денежных единиц на приобретение продукции высокого качества и технологичности за невысокую стоимость.

Модель предполагает, что агенты-потребители приобретают продукцию в случае, если расстояние между векторами общей и предпочтительной привлекательности продукции не превышает 2,9.

Период моделирования  $T$  составил 8 тактов модельного времени, шаг модельного времени — 1 такт. Порядок и характеристика тактов модельного времени приведена в таблице 1.

На третьем такте модельного времени происходит зарождение процессов кластерообразования, интенсификация информационных потоков между агентами-производителями. Поскольку все агенты-производители имеют одинаковые (сходные) характеристики, все они входят в ядро кластера.

На четвертом такте модельного времени проводится маркетинговое исследование путем выделения двух групп (математических кластеров) агентов-потребителей и построения их профилей с применением алгоритма *k-means*. Стоимость маркетингового исследования составляет 80 денежных единиц.

В процессе кластерообразования с учетом результатов маркетингового исследования происходит изменение общей привлекательности продукции в направлении построенных профилей предпочтительной привлекательности математических кластеров. Изменение данного показателя происходит путем внедрения инновационных технологий в производство и сближения профилей общей привлекательности продукции с профилями предпо-

Таблица 2

## Расчетные значения расстояний между векторами общей и предпочтительной привлекательности продукции для 1–3-го тактов модельного времени

Агенты-потребители	Агенты-производители	
	Класс 1	Класс 2
Класс 1	1,41	5,20
Класс 2	3,00	7,07
Класс 3	4,12	2,45
Класс 4	3,00	5,47

Таблица 3

## Профили и населенность математических кластеров агентами-потребителями

Наименование показателя	Кластер 1	Кластер 2
<i>Профили математических кластеров</i>		
Цена, ден. ед.	3	6
Технологичность, балл	1	3
Качество, балл	1	3
<i>Показатели математического кластера</i>		
Населенность, ед.	1	3
Классы агентов, вошедших в кластер	2	1,3,4

читительной привлекательности продукции, построенных для математических кластеров. Возможности изменения профиля общей привлекательности продукции с учетом внедрения инновационных технологий приведены на рисунке 1.

В таблице 2 приведены расчетные значения расстояний между векторами общей и предпочтительной привлекательности продукции для 1–3-го тактов модельного времени.

Полужирным шрифтом в таблице 2 выделены расстояния между векторами привлекательности продукции, определяющими поведение агентов-потребителей:

— агенты-потребители 1-го класса приобретают продукцию у агентов-производителей 1-го класса;

— агенты-потребители 3-го класса приобретают продукцию у агентов-производителей 2-го класса;

— агенты-потребители 2-го и 4-го классов продукцию не приобретают.

На четвертом такте модельного времени по результатам маркетингового исследования агенты-потребители разделены на два математических кластера. Профили и населен-

Таблица 4

**Измененные значения профилей общей привлекательности продукции**

Наименование показателя	Класс 1	Класс 2
<i>Пятый такт модельного времени</i>		
Цена, ден. ед.	4	12
Технологичность, балл	1	3
Качество, балл	1	2
<i>Седьмой такт модельного времени</i>		
Цена, ден. ед.	4	8
Технологичность, балл	1	3
Качество, балл	1	2

Таблица 5

**Расчетные значения расстояний между векторами общей и предпочтительной привлекательности продукции для 6-го такта модельного времени**

Агенты-потребители	Агенты-производители	
	Класс 1	Класс 2
Класс 1	1,41	7,14
Класс 2	1,00	9,27
Класс 3	5,74	3,16
Класс 4	2,45	7,00

Таблица 6

**Расчетные значения расстояний между векторами общей и предпочтительной привлекательности продукции для 8-го такта модельного времени**

Агенты-потребители	Агенты-производители	
	Класс 1	Класс 2
Класс 1	1,41	3,32
Класс 2	1,00	5,47
Класс 3	5,74	1,41
Класс 4	2,45	3,00

ность полученных кластеров приведены в таблице 3.

В кластер 1 вошли агенты-потребители 2-го класса, имеющие низкие требования к приобретаемой продукции; в кластер 2 — агенты-потребители 1-го, 3-го и 4-го классов.

На пятом такте модельного времени агенты-производители по результатам маркетингового исследования изменяют значения вектора общей привлекательности продукции путем внедрения инновационных технологий. Значения новых профилей общей привлекательности продукции приведены в таблице 4. Поскольку на пятом такте продолжает реализовываться немодифицированная продукция, поведение агентов-потребителей не меняется.

На шестом такте модельного времени реализуется модернизированная продукция с измененными показателями общей привлекательности. Значения расстояний между иссле-

дуемыми векторами общей и предпочтительной привлекательности приведены в таблице 5.

Полужирным шрифтом в таблице 6 выделены расстояния между векторами, определяющими поведение агентов-потребителей:

— агенты-потребители 1-го, 2-го и 4-го классов приобретают продукцию у агентов-производителей 1-го класса;

— агенты-потребители 3-го класса продукцию не приобретают;

— продукция агентов-производителей 2-го класса не приобретается.

На седьмом такте модельного времени агенты-производители 2-го класса изменяют профиль общей привлекательности своей продукции по правилам, приведенным в таблице 2. Профили общей привлекательности продукции для восьмого такта модельного времени приведены в таблице 5.

На восьмом такте модельного времени осуществляется простое взаимодействие агентов с учетом заданных правил поведения. Значения расстояний между векторами привлекательности общей и предпочтительной для восьмого такта модельного времени приведены в таблице 6.

На восьмом такте модельного времени все агенты-потребители приобретают продукцию у агентов-производителей.

Доходы и расходы всех типов агентов, значения синергетического эффекта для каждого такта модельного времени приведены ниже.

Всплеск продаж наблюдается на седьмом такте модельного времени (рис. 2). Это можно объяснить следующим образом. Агенты-потребители 2-го и 4-го классов начинают приобретать продукцию на последних тактах модельного времени, после того как накоплено необходимое количество финансовых средств, а профили общей привлекательности продукции изменяются таким образом, что расстояние между векторами общей и предпочтительной привлекательности попадает в диапазон допустимых значений (рис. 1).

На рисунке 3 приведены значения показателей деятельности агентов-производителей в каждый такт модельного времени.

На рисунке 4 приведено изменение значений финансовых средств агентов-потребителей.

Моделирование процессов кластерообразования, выполненное на базе разработанного алгоритма, показало, что в результате их активизации в региональной экономической системе происходит увеличение как значения остатка финансовых средств (прибыли) агентов, так и

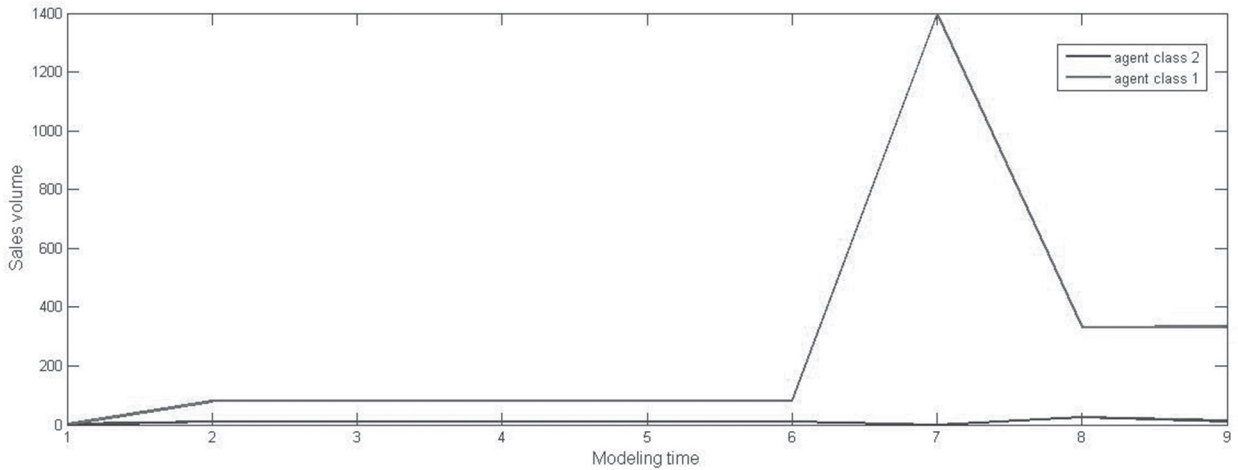


Рис. 2. Динамика продаж агентов-производителей

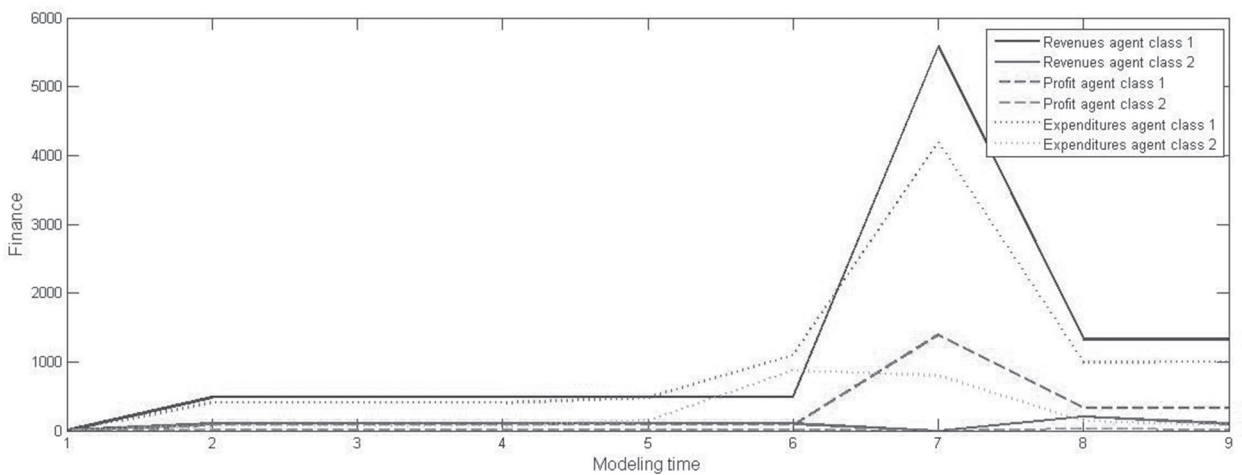


Рис. 3. Динамика показателей деятельности агентов-производителей

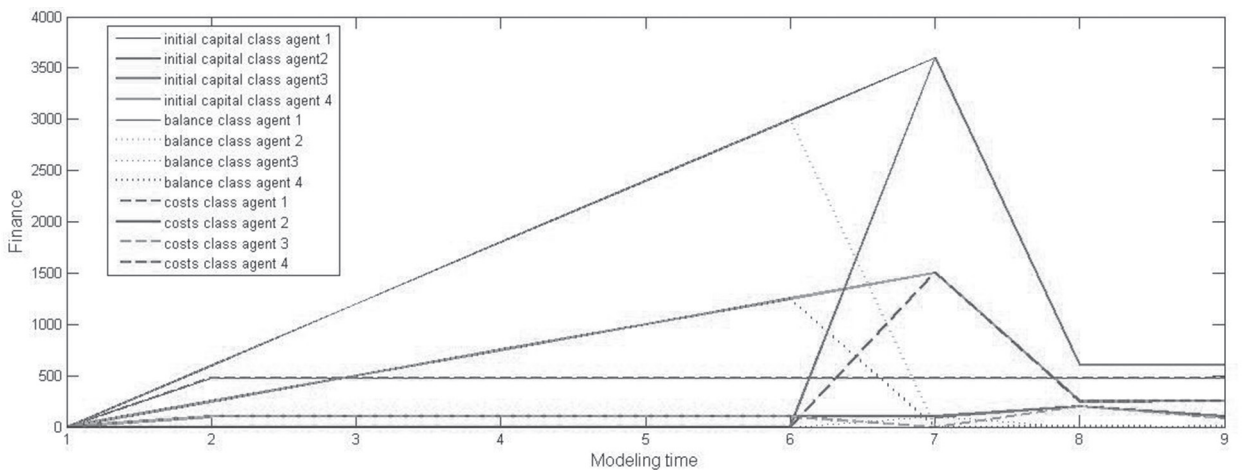


Рис. 4. Динамика изменения финансовых средств у агентов-потребителей

значения синергетического эффекта. Точка бифуркации, как видно из результатов расчетов, находится в седьмом такте модельного времени.

Поскольку в процессе кластерообразования усиливается информационный обмен между всеми агентами, происходят изменения в их поведении. В частности, изменяются значения

вектора общей привлекательности продукции с учетом результатов маркетинговых исследований, а также объемы производимой (приобретаемой) продукции. Это ведет к резкому изменению показателей кластерообразования в точках бифуркаций, что соответствует смене этапов процесса кластерообразования.

### Заключение

Вычислительный эксперимент позволил выявить следующие закономерности протекания процессов кластерообразования.

1. С усилением интенсивности процессов кластерообразования во времени происходит выравнивание показателей общей привлекательности выпускаемой кластером продукции, продукция со временем становится менее дифференцированной и более однородной. Данный факт частично обусловлен усилением связанности участников кластера, формированием более четкой структуры, что способствует активизации внутрисистемных процессов и усилению синергии.

2. Повышение уровня однородности выпускаемой кластером продукции формирует определенный тип покупателей, постепенно повышая их однородность по потребительскому поведению. Формирование кластера, таким образом, способствует развитию серийного и массового производства. Производители, ориентированные на уникального потребителя и выпускающие высокодифференцированный товар, либо выходят из кластера, либо погибают из-за снижения прибыли.

3. Для процессов кластерообразования характерны этапы спокойного функционирования, когда колеблемость основных показателей кластера невысока. Смена этапов кластерообразования сопровождается возникновением точек бифуркаций, в которых происходит резкая смена значений основных показателей кластерообразования, за которой следует либо спокойная фаза, либо следующая точка бифуркации. Данные результаты свидетельствуют о нестабильности внутрискластерных процессов, из чего, в свою очередь, можно сделать вывод о том, что переход от этапа к этапу кластерообразования сопровождается ростом энтропии, что повышает уровень неопределенности и требует особых подходов к разработке управленческих решений [32].

Итак, задача моделирования процессов стихийного кластерообразования в региональной экономике ставится для получения более полной и достоверной информации о необходимых и достаточных условиях их протекания. Закономерности стихийного образования региональных кластерных структур распространяются и на целенаправленно создаваемые кластеры, так как они являются частным случаем феномена экономической кластеризации.

Для повышения эффективности функционирования региональных кластеров, как управляемых, так и самоорганизующихся, требуется определенное качество экономической среды. Предложенный авторами алгоритм позволяет учитывать большое число параметров деятельности участников кластеров и наблюдать их изменение при смене задаваемых условий. Его результаты дадут возможность заинтересованным лицам — кластерным менеджерам, представителям органов власти, реализующим кластерные проекты и программы — повысить эффективность управления кластерными структурами, делая выбор в пользу инструментов и методов, наиболее адекватно влияющих на их развитие, исходя из понимания процессов, происходящих в них. Имитационная компьютерная модель, мы надеемся, будет интересна и полезна профессиональным исследователям кластерного феномена, преподавателям, студентам, а также всем, кто интересуется данной проблематикой.

Апробацию компьютерной модели планируется осуществить в сотрудничестве с органами региональной исполнительной власти или другими субъектами, заинтересованными в активизации процессов кластерообразования, так как компьютерное моделирование данных процессов для конкретных отраслей или отдельного региона РФ требует сбора и обработки большого числа экспертных данных и, соответственно, значительных административных и временных ресурсов.

### Список источников

1. Понькина Е. В., Лобова С. В. Экономический кластер. Взгляд с позиции теории систем и системного анализа // Известия высших учебных заведений. — 2011. — № 4. — С. 90–99. — (Экономика, финансы и управление производством).
2. Аleshин А. В. Модельно-аналитическая поддержка процесса формирования региональных кластеров // Экономика и предпринимательство. — 2013. — № 4 (33). — С. 101–106.
3. Дроздова Н. В. Особенности моделирования процесса формирования кластеров с использованием аппарата сетей Петри // Актуальные проблемы экономики и права. — 2011. — № 3. — С. 98–102.
4. Латыпова Л. В. Моделирование механизма объединения предприятий малого бизнеса в кластер с помощью методологии SADT и пакета ALLFUSION MODELING SUITE (BPWIN) // Экономика и предпринимательство. — 2013. — № 5 (34). — С. 596–600.
5. Медведев А. В., Косинский П. Д., Бондарева Г. С. Экономико-математическое моделирование агропродовольственного кластера региона // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 10–10. — С. 2203–2206.

6. Соловейчик К. А. Методический подход к моделированию промышленных кластеров // Экономика и управление. — 2011. — № 1 (63). — С. 42–45.
7. Bek M. A., Bek N. N., Sheresheva M. Y., Johnston W. J. (2013). Perspectives of SME innovation clusters development in Russia. *Journal of Business and Industrial Marketing*, 28 (3), 240–259.
8. Chincarini L., Asherie N. (2008). An analytical model for the formation of economic clusters. *Regional Science and Urban Economics*, 38 (3), 252–270.
9. Dilaver O., Bleda M., Uyarra E. (2014). Entrepreneurship and the emergence of industrial clusters. *Complexity*, 19 (6), 14–29.
10. Кантемирова М. А. Имитационная модель кластерной организации экономической системы региона // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 4–2. — С. 476–480.
11. Banasick S., Lin G., Hanham R. (2009). Deviance residual moran's I test and its application to spatial clusters of small manufacturing firms in Japan. *International Regional Science Review*, 32 (1), 3–18.
12. Татаркин А. И. Саморазвитие территориальных социально-экономических систем как потребность федерального обустройства России // Экономика региона. — 2013. — № 4. — С. 9–26.
13. Ахенбах Ю. А. Моделирование механизма взаимодействия субъектов региональной экономики на основе концепции формирования и развития научно-производственных кластеров // ФЭС. Финансы. Экономика. Стратегия. — 2012. — № 11. — С. 17–23.
14. Титов В. В. Моделирование процессов взаимодействия в региональных промышленных кластерах // Ползуновский вестник. — 2005. — № 4–3. — С. 6–11.
15. Arbia G., Espa G., Quah D. (2008). A class of spatial econometric methods in the empirical analysis of clusters of firms in the space. *Empirical Economics*, 34 (1), 81–103.
16. Yanling L., Ma F. (2009). Game analysis of knowledge spillover in industrial cluster. *Proceedings — International Conference on Management and Service Science, MASS 2009*, 5305509.
17. Малова Д. В. Сценарный анализ развития региональных инновационных кластеров на основе динамического моделирования // Научные труды Вольного экономического общества России. — 2012. — № 164. — С. 215–222.
18. Ратнер С. В., Акинкина М. М. Выбор параметров оптимального управленческого воздействия на региональный нефтегазовый кластер на основе имитационного моделирования // Региональная экономика. Теория и практика. — 2011. — № 20. — С. 2–11.
19. Смирнова С. М. Моделирование стадии развития промышленного кластера // Научное обозрение. — 2013. — № 8. — С. 159–162.
20. Popp A., Wilson J. (2007). Life cycles, contingency, and agency: Growth, development, and change in English industrial districts and clusters. *Environment and Planning A*, 39 (12), 2975–2992.
21. Press K. (2008). Divide to conquer? Limits to the adaptability of disintegrated, flexible specialization clusters. *Journal of Economic Geography*, 8 (4), 565–580.
22. Suire R., Vicente J. (2014). Clusters for life or life cycles of clusters: in search of the critical factors of clusters' resilience. *Entrepreneurship and Regional Development*, 26 (1–2), 142–164.
23. Tsai B.-H., Li Y. (2009). Cluster evolution of IC industry from Taiwan to China. *Technological Forecasting and Social Change*, 76 (8), 1092–1104.
24. Zeng Y., Xiao R. (2014). Modelling of cluster supply network with cascading failure spread and its vulnerability analysis. *International Journal of Production Research*, 52 (23), 6938–6953.
25. Уемов А. И. Системный подход и общая теория систем. — М. : Мысль, 1978. — 272 с.
26. Кричевский М. Л. Интеллектуальные методы в менеджменте. — СПб. : Питер, 2005. — 304 с.
27. Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б., Подлазов А. В. Нелинейная динамика. Подходы, результаты, надежды. — М. : ЛИБРОКОМ, 2011. — 280 с.
28. Боуш Г. Д. Кластеры в экономике. Научная теория, методология исследования, концепция управления. — Омск : Изд-во Омского гос. ун-та, 2013. — 408 с.
29. Shoham Y. (1990). Agent Oriented Programming: Technical Report STAN-CS-90-1335. — Computer Science Department, Stanford University, 532 p.
30. Джуха В. М., Курицын А. В., Штрапова И. С. Экономика отраслевых рынков: учебное пособие. — М. : КНОРУС, 2012. — 288 с.
31. Баранчев В. П., Масленникова Н. П., Мишин В. М. Управление инновациями : учебник для бакалавров. — М. : ЮРАЙТ, 2012. — 711 с.
32. Куликова О. М. Алгоритм поддержки принятия оптимальных управленческих решений в условиях неопределенности // Наука о человеке. Гуманитарные исследования. — 2013. — № 1 (11). — С. 256–260.

### Информация об авторах

**Боуш Галина Дмитриевна** — доктор экономических наук, доцент, профессор, Омская гуманитарная академия (Российская Федерация, 644105, г. Омск, ул. 4-я Челюскинцев, 2-а, 300; e-mail: gboush@narod.ru).

**Куликова Оксана Михайловна** — кандидат технических наук, доцент, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (Российская Федерация, 644080, г. Омск, пр-т. Мира, 5; e-mail: aaaaal1@ Rambler.ru).

**Шелков Иван Константинович** — студент, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (Российская Федерация, 644080, г. Омск, пр-т. Мира, 5; e-mail: ifan\_146@mail.ru).

For citation: *Ekonomika regiona [Economy of Region]*, — 2016. — Vol. 12, Issue 1. — pp. 64-77

**G. D. Boush<sup>a)</sup>, O. M. Kulikova<sup>b)</sup>, I. K. Shelkov<sup>b)</sup>**

<sup>a)</sup> Omsk Academy of the Humanities (Omsk, Russian Federation)

<sup>b)</sup> Siberian Automobile and Highway Academy (Omsk, Russian Federation)

### Agent Modelling of Cluster Formation Processes in Regional Economic Systems

*The subject matter of this research is the processes of the spontaneous clustering in the regional economy. The purpose is the development and approbation of the modelling algorithm of these processes. The hypothesis: the processes of spontaneous clustering in the social and economic environment are supposed to proceed not linearly, but intermittently. The following methods are applied: agent imitating modelling with an application of FOREL and k-means algorithms. The modelling algorithm is realized in the Phiton 3 programming language. The course regularities of clustering processes in the region are revealed: 1) the clustering processes are intensifying, the production uniformity is increasing; 2) the increase of the level of production uniformity leads to the leveling of customer behavior; 3) the producers of high-differentiated production reduce the level of its differentiation or leave the cluster; 4) the stages of steady functioning are illustrative for clustering processes, their change is followed with arising of bifurcation points; 5) the activation of clustering processes in regional economy leads to the revenue increase of the cluster participants, each of producers and of consumers, and to the growth of synergetic effect values. These results testify the nonlinearity of processes of clustering and ambiguity of their effects. The following conclusions have been drawn: 1) a modelling of the processes of spontaneous clustering in regional economy has showed that they proceed not linearly, a steady progressive development is followed with leaps; 2) the clustering of regional economy leads to the growth of the efficiency indicators of activities of cluster-concerned entities; 3) initiation and activation of the clustering processes requires a certain environment.*

**Keywords:** regional economy, regional clusters, spontaneous clustering, agent imitational modelling, model of spontaneous clustering in regional economy, agents-producers, agents-suppliers, agents-customers, modelling of the algorithm of spontaneous clustering in regional economy, regularities of spontaneous clustering

### References

1. Ponkina, E. V. & Lobova, S. V. (2011). Ekonomicheskiy klaster: vzglyad s pozitsii teorii sistem i sistemnogo analiza [Economic cluster: a look from a position of the theory of systems and system analysis]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy [News of higher educational institutions]*. Ser: Ekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom [Economics, finances and production management], 4, 90–99.
2. Alyoshin, A. V. (2013). Modelno-analiticheskaya podderzhka protsessa formirovaniya regionalnykh klasterov [Model and analytical support for process of the regional clusters development]. *Ekonomika i predprinimatelstvo [Economics and business]*, 4(33), 101–106.
3. Drozdova, N. V. (2011). Osobennosti modelirovaniya protsessa formirovaniya klasterov s ispolzovaniem apparata setey Petri [Cluster process modeling issues with the use of a Petri net]. *Aktualnyye problemy ekonomiki i prava [Current issues of economics and law]*, 3, 98–102.
4. Latypova, L. V. (2013). Modelirovanie mekhanizma obedineniya predpriyatiy malogo biznesa v klaster s pomoshchyu metodologii SADT i paketa ALLFUSION MODELING SUITE (BPWIN) [Mechanism modeling of the small business enterprises consolidation in a cluster by means of the SADT methodology and ALLFUSION MODELING SUITE (BPWIN) package]. *Ekonomika i predprinimatelstvo [Economics and business]*, 5(34), 596–600.
5. Medvedev, A. V., Kosinskiy, P. D. & Bondareva, G. S. (2013). Ekonomiko-matematicheskoye modelirovanie agro-prodovolstvennogo klastera regiona [Economic-mathematical modeling of regional agrofood cluster]. *Fundamentalnyye issledovaniya [Basic research]*, 10–10, 2203–2206.
6. Soloveychik, K. A. (2011). Metodicheskiy podkhod k modelirovaniyu promyshlennykh klasterov [Methodical approach to the modeling of industrial clusters]. *Ekonomika i upravlenie [Economics and business]*, 1(63), 42–45.
7. Bek, M. A., Bek, N. N., Sheresheva, M. Y. & Johnston, W. J. (2013). Perspectives of SME innovation clusters development in Russia. *Journal of Business and Industrial Marketing*, 28(3), 240–259.
8. Chincarini, L. & Asherie, N. (2008). An analytical model for the formation of economic clusters. *Regional Science and Urban Economics*, 38(3), 252–270.
9. Dilaver, O., Bleda, M. & Uyarra, E. (2014). Entrepreneurship and the emergence of industrial clusters. *Complexity*, 19(6), 14–29.
10. Kantemirova, M. A. (2013). Imitatsionnaya model klasternoy organizatsii ekonomicheskoy sistemy regiona [Imitating model of the regional economic system cluster organization]. *Fundamentalnyye issledovaniya [Basic research]*, 4–2, 476–480.
11. Banasick, S., Lin, G. & Hanham, R. (2009). Deviance residual moran's I test and its application to spatial clusters of small manufacturing firms in Japan. *International Regional Science Review*, 32(1), 3–18.

12. Tatarkin, A. I. (2013). Samorazvitiye territorialnykh sotsialno-ekonomicheskikh sistem kak potrebnost federativnogo obustroystva Rossii [Self-development of the territorial socio-economic systems as a requirement of the federal structure of Russia]. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 4, 9–26.
13. Ahenbah, Yu. A. (2012). Modelirovaniye mekhanizma vzaimodeystviya subektov regionalnoy ekonomiki na osnove kontseptsii formirovaniya i razvitiya nauchno-proizvodstvennykh klasterov [Modeling of the interaction mechanism of the subjects of regional economy on the basis of the formation concept and esearch and production clusters development]. *FES: Finansyi. Ekonomika. Strategiya [FES. Finances. Economics. Strategy.]*, 11, 17–23.
14. Titov, V. V. (2005). Modelirovaniye protsessov vzaimodeystviya v regionalnykh promyshlennykh klasterakh [Interaction processes modeling in the regional industrial clusters]. *Polzunovskiy vestnik [The Polzunovsky bulletin]*, 4–3, 6–11.
15. Arbia, G., Espa, G. & Quah, D. (2008). A class of spatial econometric methods in the empirical analysis of clusters of firms in the space. *Empirical Economics*, 34(1), 81–103.
16. Yanling, L. & Ma, F. (2009). Game analysis of knowledge spillover in industrial cluster. *Proceedings — International Conference on Management and Service Science. MASS 2009*, 5305509.
17. Malova, D. V. (2012). Stsenarnyy analiz razvitiya regionalnykh innovatsionnykh klasterov na osnove dinamicheskogo modelirovaniya [The scenario analysis of the regional innovation clusters development on the basis of dynamic modeling]. *Nauchnyye trudy Volnogo ekonomicheskogo obschestva Rossii [Scientific Works of the Free Economic Society of Russia]*, 164, 215–222.
18. Ratner, S. V. & Akinkina, M. M. (2011). Vybor parametrov optimalnogo upravlencheskogo vozdeystviya na regionalnyy neftegazovyy klaster na osnove imitatsionnogo modelirovaniya [Selection of the optimal administrative impact parameters for the regional oil and gas cluster on the basis of imitating modelling]. *Regionalnaya ekonomika: teoriya i praktika [Regional economy. Theory and practice]*, 20, 2–11.
19. Smirnova, S. M. (2013). Modelirovaniye stadii razvitiya promyshlennogo klastera [Modeling of the industrial cluster development stage]. *Nauchnoye obozrenie [Scientific review]*, 8, 159–162.
20. Popp, A. & Wilson, J. (2007). Life cycles, contingency, and agency: Growth, development, and change in English industrial districts and clusters. *Environment and Planning A*, 39(12), 2975–2992.
21. Press, K. (2008). Divide to conquer? Limits to the adaptability of disintegrated, flexible specialization clusters. *Journal of Economic Geography*, 8(4), 565–580.
22. Suire, R. & Vicente, J. (2014). Clusters for life or life cycles of clusters: in search of the critical factors of clusters' resilience. *Entrepreneurship and Regional Development*, 26(1–2), 142–164.
23. Tsai, B.-H. & Li, Y. (2009). Cluster evolution of IC industry from Taiwan to China. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(8), 1092–1104.
24. Zeng, Y. & Xiao, R. (2014). Modelling of cluster supply network with cascading failure spread and its vulnerability analysis. *International Journal of Production Research*, 52(23), 6938–6953.
25. Uyomov, A. I. (1978). *Sistemnyy podkhod i obschaya teoriya system [System approach and general theory of systems]*. Moscow: Mysl Publ., 272.
26. Krichevskiy, M. L. (2005). *Intellektualnyye metody v menedzhmente: monografiya [Intellectual methods in management: monograph]*. St. Petersburg: Piter Publ., 304.
27. Malinetskiy, G. G., Potapov, A. B. & Podlazov, A. V. (2011). *Nelineynaya dinamika: podkhody, rezultaty, nadezhdy: monografiya [Nonlinear dynamics. Approaches, results, hopes]*. Moscow: Librokom Publ., 280.
28. Boush, G. D. (2013). *Klasteriy v ekonomike: nauchnaya teoriya, metodologiya issledovaniya, kontseptsiya upravleniya: monografiya [Clusters in economics. Scientific theory, research methodology, concept of management]*. Omsk: Omsk State University Publ., 408.
29. Shoham, Y. (1990). *Agent Oriented Programming: Technical Report STAN-CS-90-1335*. Computer Science Department, Stanford University, USA, 532.
30. Dzhukha, V. M., Kuritsyn A. V. & Shtrapova, I. S. (2012). *Ekonomika otraslevykh rynkov: uchebnoye posobie [Economy of the sectoral markets: textbook]*. Moscow: Knorus Publ., 288.
31. Barancheev, V. P., Maslennikova, N. P. & Mishin, V. M. (2012). *Upravlenie innovatsiyami: uchebnyk dlya bakalavrov [Management of innovations: textbook for bachelors]*. Moscow: YuRAYT Publ., 711.
32. Kulikova, O. M. (2013). Algoritm podderzhki prinyatiya optimalnykh upravlencheskikh resheniy v usloviyakh neopredelennosti [Algorithm of support of the optimum administrative decisions adoption in the conditions of uncertainty]. *Nauka o cheloveke: gumanitarnyye issledovaniya [Human science. Humanitarian research]*, 1(11), 256–260.

### Authors

**Galina Dmitrievna Boush** — Doctor of Economics, Associate Professor, Professor, Omsk Academy of the Humanities (300, 2-a, 4th Chelyuskintsev St., Omsk, 644105, Russian Federation; e-mail: gboush@narod.ru).

**Oksana Mikhailovna Kulikova** — PhD in Engineering, Associate Professor, Siberian Automobile and Highway Academy (5, Mira Ave., Omsk, 644080, Russian Federation; e-mail: aaaa11@rambler.ru).

**Ivan Konstantinovich Shelkov** — Student, Siberian Automobile and Highway Academy (5, Mira Ave., Omsk, 644080, Russian Federation; e-mail: ifan\_146@mail.ru).