

## РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЯВЛЕНИЯ, ОТБОРА И РЕАЛИЗАЦИИ ИДЕЙ И ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Анатолий Селянинов, Наталья Фролова

**Abstract:** В статье представлены результаты разработки агент-ориентированной модели инновационного процесса появления, отбора и реализации инновационных проектов. Инновационная система является сложной слабоструктурированной социально-экономической системой, являющейся результатом взаимодействия целенаправленных элементов и обладающей множеством явных и неявных прямых и обратных связей. Для построения правдоподобной социально-экономической модели и повышения эффективности управления инновационной системой возникает необходимость полноценного учета особенностей инновационных процессов, что стимулирует искать новые способы моделирования экономической реальности. Предложенный агент-ориентированный подход к моделированию и исследованию проблем инновационного развития позволяет получать как качественные, так и количественные оценки эффекта воздействия на инновационную систему. Для оценки эффективности взаимодействия агентов в модели созданы параметры *profit* (абсолютная величина чистых выгод) и *efficiency* (отношение полезных конечных результатов её функционирования к затраченным ресурсам), а также использованы функции сбора статистики, например, в ходе анализа изменения числа инновационных продуктов, реализуемых на рынке. Качественные оценки могут базироваться, например, на анализе причин скопления инновационных идей на некоторой стадии отбора. В статье определены основные этапы, а также некоторые математические аспекты построения агент-ориентированной модели инновационной системы. Приведено концептуальное описание механизма работы модели. Инновационная система в разработанной модели рассматривается в качестве «инновационной воронки», то есть основное внимание уделяется процессам отбора и преобразования идей в конечный продукт, появления и выбытия этих идей на различных стадиях инновационного процесса. В качестве экономических агентов в модели рассматриваются технологические брокеры, авторы инновационных разработок, инвесторы и правительство. Все экономические агенты, за исключением правительства, являются реплицируемыми, что позволяет регулировать их количество при помощи параметров, добавлять и удалять агентов во время симуляций, управляя классами агентов. В процессе разработки агент-ориентированной модели инновационной системы рассматривались четыре взаимосвязанных уровня экономической реальности: реальная инновационная система; агент-ориентированный уровень инновационной системы; логико-математический уровень инновационной системы; виртуальная реальность, в которой осуществляются целенаправленные вычислительные эксперименты. Созданная компьютерная модель позволяет проводить эксперименты типа «Что будет, если...» и, в конечном счете, уменьшить риск принятия неверного управленческого решения.

**Keywords:** агент-ориентированное моделирование; инновации; инновационная воронка; имитационное моделирование; моделирование сложных систем.

**ACM Classification Keywords:** H. Information Systems: H.4 Information Systems Applications: H.4.2 Types of Systems – Decision support (e.g., MIS).

---

### Введение

Моделирование инновационной системы, как совокупности субъектов и объектов инновационной деятельности, взаимодействующих в процессе создания и реализации инновационной продукции и осуществляющих свою деятельность в рамках проводимой государством инновационной политики, является слабо структурированной проблемой: на процессы в инновационной системе влияет множество факторов, как управляемых, так и неуправляемых.

Разрабатывая модели инновационных систем, необходимо учитывать влияние системообразующих факторов и закономерностей (неустранимый уровень неопределенности, гетерогенность экономических агентов и др.) на эволюцию инноваций [1, 8]. В рамках традиционных эконометрических моделей невозможно объяснить такие характерные особенности инновационных процессов, как лавинообразный характер начала инновационного развития, стохастичность этого процесса, природа скачков на логистических кривых инновационного развития. Эти особенности связаны с нелинейностью инновационных процессов и для их объяснения можно использовать синергетический подход. С помощью современных инструментальных средств такой подход позволяет реализовать агент-ориентированное моделирование. В этом случае субъекты инновационной системы рассматриваются как гетерогенные агенты, наделенные определенными свойствами, взаимодействующие с другими агентами и находящиеся в каждый момент времени в определенном состоянии.

Применение агентного подхода позволяет исследователям формализовать моделируемые объекты с полным сохранением их логической структуры и поведенческих особенностей на любом уровне абстракции.

Агент-ориентированный подход сочетает в себе черты различных направлений информационных технологий, поэтому агент-ориентированные модели можно рассматривать в качестве:

- – элемента ситуационного центра;
- – инструмента Data Mining;
- – системы поддержки принятия решений (СППР);
- – системы игрового моделирования;
- – средства Business Intelligence.

При разработке агент-ориентированной модели (АОМ) инновационной системы были поставлены следующие цели:

- – Полное соответствие основным принципам мультиагентного подхода.
- – Построение модели, ориентированной на получение результатов, имеющих прикладное значение.

В процессе разработки АОМ инновационной системы рассматривались четыре взаимосвязанных уровня экономической реальности:

- реальная инновационная система;
- агент-ориентированный уровень инновационной системы;
- логико-математический уровень инновационной системы;
- виртуальная реальность, в которой осуществляются целенаправленные вычислительные эксперименты.

Переход от одного уровня экономической реальности к другому соответствует следующим этапам построения АОМ: концептуализация, как содержательный анализ предметной области (переход от первого уровня ко второму); формализация, как представление концептуального описания на формальном языке (переход от 2 уровня к 3 уровню); компьютерная реализация (переход от 3 к 4 уровню).

Рассмотрим последовательно все три этапа построения АОМ.

---

### Концептуализация и формализация инновационной системы

---

АОМ инновационной системы может быть представлена в виде совокупности трех множеств:

$$АОМ = (A, R, E),$$

где:

- $A = A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_N$  – множество агентов модели, разделенных на некоторые подмножества, определенные ниже;
- $R \subseteq A_1 \times A_2 \times \dots \times A_N$  – множество отношений между агентами, элементами которого являются упорядоченные  $N$ -ки  $(a_1, a_2, \dots, a_N)$  для всевозможных  $a_1 \in A_1, a_2 \in A_2, \dots, a_N \in A_N$ ;
- $E = E_1 \cup E_2 \cup \dots \cup E_M$  – множество созданных вариантов экспериментов.

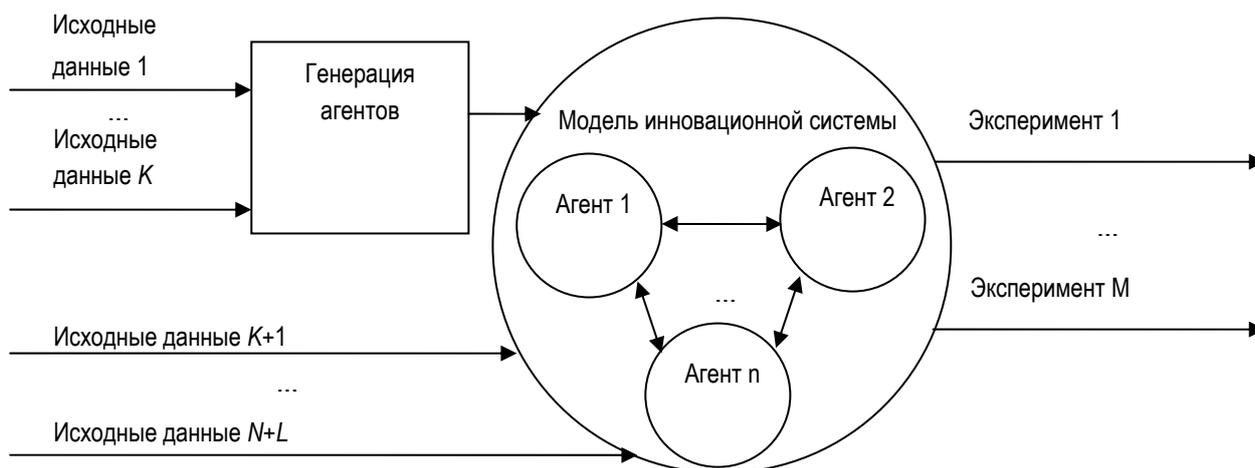


Рис.1. Формализованное представление агент-ориентированной модели

Определим содержательно описанные выше составляющие АОМ.

В качестве экономических агентов в модели рассматриваются технологические брокеры, авторы инновационных разработок, инвесторы и правительство. Все экономические агенты, за исключением правительства, являются реплицируемыми, что позволяет регулировать их количество при помощи параметров, добавлять и удалять агентов во время симуляций, управляя следующими подмножествами агентов.

Определим  $A_1 \subset A$  как множество всех технологических брокеров,  $A_2 \subset A$  – множество всех инвесторов,  $A_1^{free} \subset A_1$  – множество свободных в текущий момент времени брокеров,  $A_2^{free} \subset A_2$  – множество свободных в текущий момент времени инвесторов.

Определим  $A_3 \subset A$  как множество всех идей и проектов в инновационной системе;  $A_3^{Bwait} \subset A_3$  – множество инновационных идей, проектов, технологий, разработчики которых ищут технологического брокера;  $A_3^{Iwait} \subset A_3^{Bwait}$  – множество инновационных идей, проектов, технологий, отобранных технологическими брокерами и находящихся в ожидании инвестора;  $A_3^{trial} \subset A_3^{Iwait}$  – множество инновационных идей, проектов, технологий, прошедших отбор технологических брокеров и инвесторов;  $A_3^{result} \subset A_3^{trial}$  – множество реализованных идей, проектов, технологий.

Мощность этих множеств не является неизменной: в каждом множестве с течением времени могут появляться новые элементы, старые могут исчезать. Соотношение между множествами, характеризующими уменьшение количества инновационных идей и проектов в процессе их отбора, представлено на рис. 2.

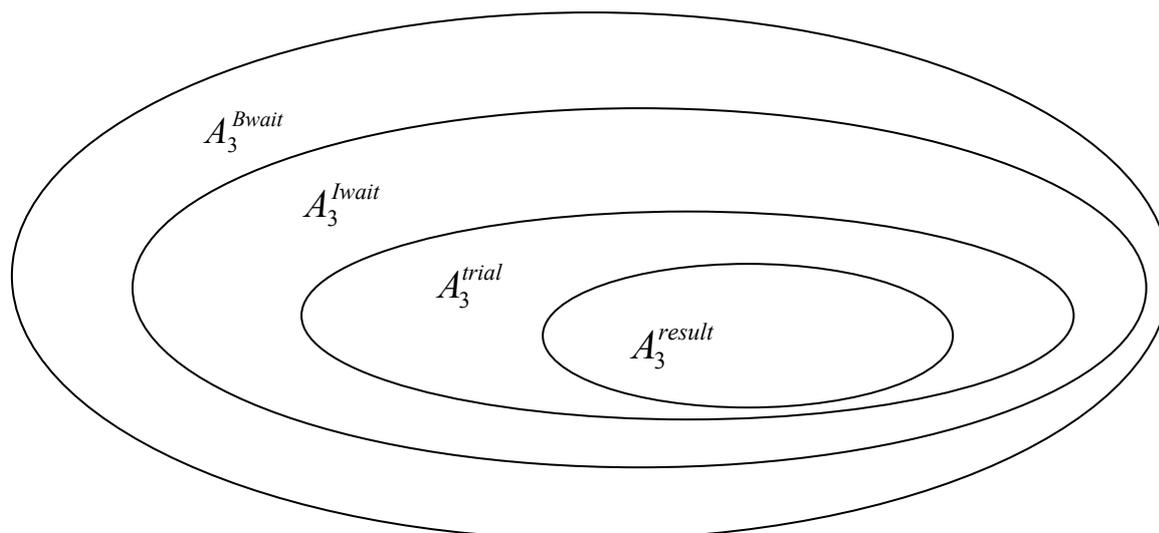


Рис.2. Вложенная структура множеств  $A_3^{Bwait}$ ,  $A_3^{Iwait}$ ,  $A_3^{trial}$ ,  $A_3^{result}$

Ежегодно как на региональном, так и на федеральном уровне национальной инновационной системы возникают сотни и тысячи инновационных проектов, идей, новых подходов к использованию ресурсов и управлению ими. Они являются элементами множества  $A_3$ . Процесс генерации элементов множества

$A_3$  осуществляется талантливой молодежью, студентами, аспирантами, сотрудниками ВУЗов, НИИ, предприятий.

Генерация идей, которую можно аппроксимировать числом поданных патентных заявок, становится более интенсивной при увеличении расходов государства на высшее и послевузовское профессиональное образование. Формирование и повышение качества человеческого потенциала, происходящее в период обучения в ВУЗе и при получении послевузовского образования, в значительной мере формирует прослойку квалифицированных специалистов, способных к генерации знаний. Поэтому расходы на высшее профессиональное и послевузовское образование в модели рассматриваются как основной фактор увеличивающий интенсивность генерации знаний.

Итак, в качестве объясняющих переменных рассматривались фактические доли расходов федерального бюджета на образование в общей сумме расходов в текущий и предыдущий финансовые годы ( $x_t$  и  $x_{t-1}$  соответственно), в качестве объясняемой переменной – число поданных патентных заявок на изобретения в текущем году ( $y$ ). В результате оценки параметров регрессии в статистическом пакете STATISTICA 6.0 была получена эконометрическая модель, которая использовалась при задании зависимостей между генерируемыми в обществе идеями и расходами бюджета на образование:

$$\hat{Y}_t = 14146,25 + 1803,16 \cdot x_t + 4967,78 \cdot x_{t-1}. \quad (1)$$

Поскольку  $\hat{Y}_t$  по экономическому смыслу может принимать только целые значения, при построении виртуальной реальности в AnyLogic для округления использовалась специальная функция *round()*. Анализ качества модели, основанный на вычислении статистических критериев, позволяет говорить о достаточно точной аппроксимации описанных выше зависимостей.

Следует отметить, что и технологический брокер, и инвестор могут работать только с ограниченным числом проектов одновременно. Возможности технологического брокера ограничены площадью помещения, количеством сотрудников, а инвестора – наличием у него свободного капитала.

В терминах теории множеств эти ограничения (принадлежность конкретного инвестора множеству  $A_2^{free}$  и принадлежность конкретного технологического брокера множеству  $A_1^{free}$ ) при контакте разработчика  $d$  и инвестора  $i$  и при контакте разработчика  $d$  и технологического брокера  $s$  учитываются следующим образом:

$$\text{если } \exists d \in A_3^{Iwait}, \exists i: SizeI < MaxI \text{ (то есть } \exists i \in A_2^{free} \text{)} \Rightarrow SizeI = SizeI + 1, d \in A_3^{trial},$$

$$\text{если } \exists d \in A_3^{Bwait}, \exists s: SizeS < MaxS \text{ (то есть } \exists s \in A_1^{free} \text{)} \Rightarrow SizeS = SizeS + 1, d \in A_3^{Iwait}.$$

Используемые обозначения:  $MaxS$  – максимальное число инноваторов, с которым одновременно может работать технологический брокер,  $MaxI$  – максимальное число инновационных проектов, которые одновременно может финансировать инвестор,  $SizeS$  – текущее число инноваторов, с которым одновременно может работать технологический брокер,  $SizeI$  – текущее число инновационных проектов, которые одновременно может финансировать инвестор.

Для каждого конкретного технологического брокера или инвестора  $MaxS$  и  $MaxI$  необходимо задавать индивидуально, учитывая гетерогенность агентов.

В результате мониторинга информации о возникающих в обществе идеях и проектах, оперативность и результативность которого зависит от уровня профессионализма технологического брокера и общего состояния экономической конъюнктуры, может произойти или не произойти контакт брокера с инноватором. Иными словами для осуществления контакта разработчика инновационной идеи или проекта с технологическим брокером необходимо:

$$\begin{cases} A_1^{free} \neq \emptyset, A_3^{Bwait} \neq \emptyset \\ \xi > f(E_S, C) \end{cases} \quad (2)$$

где:  $\xi$  – случайная величина, принимающая с равной вероятностью значения из интервала  $(0;1)$ ,  $C \in (0;1)$  – переменная, отражающая общее состояние рыночной конъюнктуры (0 – кризис, глубокая рецессия, 1 – нет кризиса, подъем),  $E_S \in (0;1)$  – эффективность работы технологического брокера,  $f(E_S, C)$  – некоторая функция.

Однако если в течение двух-трех лет автор идеи не нашел технологического брокера, то он, как правило, покидает национальную инновационную систему (пытается реализовать свои разработки за рубежом или теряет интерес к их реализации): множество  $A_3$  теряет один элемент.

Если автор инновационной разработки нашел технологического брокера, готового включиться в процесс продвижения, то между ними возникают экономические отношения. Технологический брокер проводит профессиональную экспертизу проекта, оценивает его с точки зрения возможности коммерциализации. Если инновационный проект бесперспективен и не имеет потенциала для коммерциализации, то он отклоняется брокером. По мнению директора Центра инновационного бизнеса, расположенного во французском городе Монпелье, из 230 поданных заявок шансы пройти отбор имеют в лучшем случае 30-35 инновационных идей, т.е. 13-15 процентов их общего числа [5].

В случае положительной оценки проекта технологический брокер ищет компанию, заинтересованную во внедрении и доведении разработки исследователя до производства готовой продукции. На этом этапе возможна также доработка инновационного проекта до необходимого уровня при согласованном взаимодействии брокера и автора разработки. Если в течение двух-трех лет подходящая компания не была найдена, то автор проекта также уходит из национальной инновационной системы, пытаясь реализовать свои интеллектуальные разработки за ее пределами. Вероятность нахождения инвестора

технологическим брокером в значительной мере зависит от профессионализма технологического брокера и состояния экономики. Условие контакта инвестора и технологического брокера можно записать так:

$$\begin{cases} A_2^{free} \notin \emptyset, A_3^{Iwait} \notin \emptyset \\ \xi > f(E_1, C) \end{cases} \quad (3)$$

где:  $\xi$  – случайная величина, принимающая с равной вероятностью значения из интервала  $(0;1)$ ,  $C \in (0;1)$  – переменная, отражающая общее состояние рыночной конъюнктуры (0 – кризис, глубокая рецессия, 1 – нет кризиса, подъем),  $E_1 \in (0;1)$  – эффективность работы инвестора с инноваторами,  $f(E_1, C)$  – некоторая функция.

Функции  $f(E_S, C)$ ,  $f(E_1, C)$  в правой части неравенств в системах (2) и (3) с учетом экономического содержания процессов должны обладать следующими свойствами.

1. Непрерывность.
2. Убывание по  $C$ ,  $E_1$ ,  $E_S$ . При улучшении состояния экономики и повышении эффективности работы агентов вероятность контакта должна увеличиваться, и наоборот.
3. При  $C = 0$  и  $E_1 = 0$  случайная величина  $\xi$  всегда должна быть меньше значения выражения в правой части (значение правой части должно быть равно или больше 1), и даже при наличии свободных агентов контакт не произойдет.
4. При  $C = 1$  и  $E_1 = 1$  случайная величина  $\xi$  всегда должна быть больше значения выражения в правой части (значение правой части должно быть равно или меньше 0), в этом случае контакт агентов зависит только от наличия свободных агентов.

Кроме этих требований в зависимости от условий конкретной инновационной системы к функциям  $f(E_1, C)$  и  $f(E_S, C)$  могут предъявляться дополнительные требования.

Свойствам 1-3 удовлетворяют, например, функции:  $f(E_1, C) = (1 - E_1) * (1 - C)$  и  $f(E_S, C) = (1 - E_S) * (1 - C)$ . Могут быть подобраны и другие функции, удовлетворяющие этим свойствам.

Если в течение двух-трех лет подходящая компания не была найдена, то автор проекта также уходит из национальной инновационной системы, пытаясь реализовать свои интеллектуальные разработки за пределами инновационной системы (в зарубежных странах). Время поиска инвестора технологическим брокером в значительной мере зависит от профессионализма технологического брокера.

После того, как автор проекта при помощи технологического брокера нашел нужную компанию для реализации своих разработок, начинается процесс обсуждения условий его реализации. На совместных переговорах с участием автора, представителей технологического брокера, компании-инвестора обсуждаются финансовые показатели инвестиционного проекта, пропорции распределения доходов участников, интеллектуальные права на изобретение, целевой рынок и т.д. Если при обсуждении не возникло принципиальных разногласий по поводу этих вопросов, агенты подписывают соглашение и переходят к следующему этапу – реализации инновационного проекта и опытному производству. В противном случае по истечении 2-3 лет поиска инвестора автор проекта покидает инновационную систему России.

Наконец, на этапе реализации и опытного производства автор проекта также может вследствие ряда неблагоприятных факторов покинуть инновационную систему. К таким факторам относятся недостаток финансовых ресурсов компании при реализации проекта, низкий спрос на новую продукцию и др. И только в случае успешного прохождения этого этапа происходит выпуск инновационного продукта.

По истечении некоторого промежутка времени продукт перестает быть инновационным. На рынке появляются аналогичные товары или товары-заменители, выпускаемый продукт становится привычным для общества и покидает инновационную систему.

Формализовать целевое поведение агента-разработчика инновационного проекта или идеи возможно с помощью набора карт состояний, или стейтчартов (UML Statecharts), ведущих свое происхождение от карт состояния Харелла. Они являются основным инструментом формализации в агент-ориентированном моделировании [3]. В соответствии со стейтchartом автор инновационной разработки может находиться в одном из четырех состояний (рис. 3): поиск технологического брокера, поиск инвестора, опытное производство и выпуск готового инновационного продукта.

Динамическая модель перехода интеллектуального агента из одного режима функционирования в другой может быть представлена в виде продукционной системы, определяемой выражением:

$$PS = \langle R, P, I \rangle,$$

где:  $R$  – множество состояний (или иными словами режимов функционирования) агента;  $P$  – множество правил преобразования (база знаний);  $I$  – интерпретатор (механизм логического вывода).

Структура  $k$ -го правила  $p_k$ ,  $k = 1..K$ , имеет следующую форму:

$$p_k : \text{if}(R_{current} \wedge \{q_j \in Q_j\}) \text{then}(R_{new}), j = \overline{1, h},$$

где:  $R_{current}$  – текущий режим функционирования агента;  $h$  – количество параметров, контролируемых в данном состоянии;  $Q_j$  – определенное множество значений параметров, заданное индивидуально для каждого  $j = \overline{1, h}$ ;  $q_j$  – множество текущих значений параметров,  $R_{new}$  – новый режим функционирования агента.

$Q_j$  может представлять собой множество, состоящее из одного элемента (вещественного, рационального, натурального, двоичного числа), может представлять собой отрезок, интервал и т.д.

---

## Реализация модели

---

Такое концептуальное и формализованное описание инновационной системы можно реализовать на основе нового инструмента имитационного моделирования AnyLogic, разработанного компанией XJ Technologies [9]. Результатом компьютерной реализации будет виртуальная реальность, сохраняющая логическую структуру и свойства реальных объектов инновационной системы.

На этапе компьютерной реализации АОМ при помощи AnyLogic необходимо решить задачу визуализации виртуальной реальности в информационной системе. Для этого нами разработана абстрактная структура инновационной системы, в которой для инновационных идей и проектов зоны их появления, отбора технологическими брокерами и инвесторами и реализации представлены в виде участков «инновационной воронки».

Созданный графический интерфейс эффективно и наглядно демонстрирует децентрализованные, динамические инновационные процессы, параллельно осуществляемые в условиях неопределенности множеством неоднородных взаимосвязанных и взаимозависимых между собой агентов.

Конечный результат в форме структуры «инновационной воронки», отображаемый в окне анимации созданной модели, представлен на рис. 4.

При помощи управляющих кнопок в модели предусмотрено переключение между четырьмя областями просмотра:

- окно анимации (главное окно);
- окно секторной диаграммы отклонённых проектов в зависимости от причин;

- окно управления расходами на высшее и послевузовское профессиональное образование;
- окно управления числом технологических брокеров в инновационной системе.

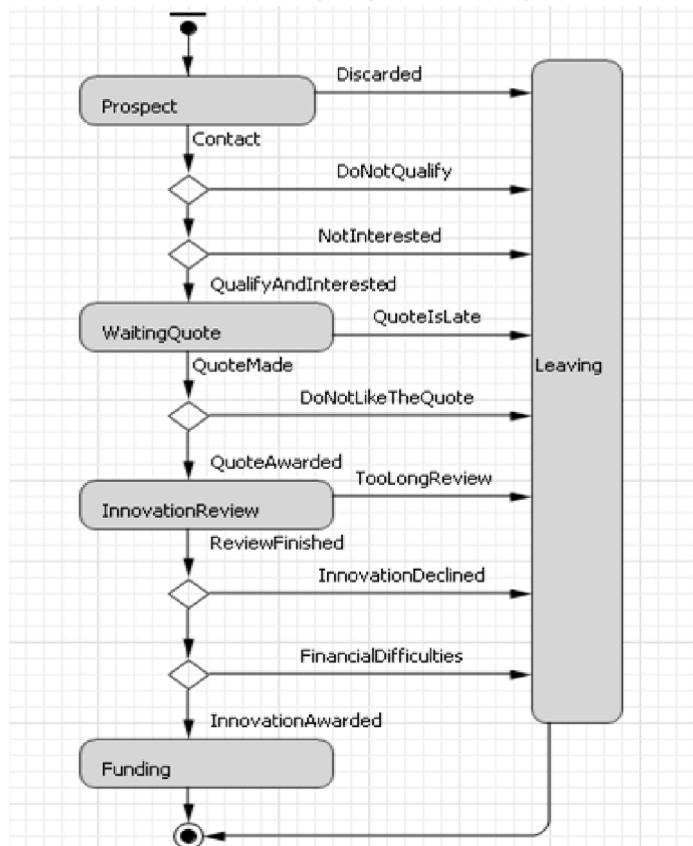


Рис. 3. Диаграмма состояний автора-разработчика инновационного проекта

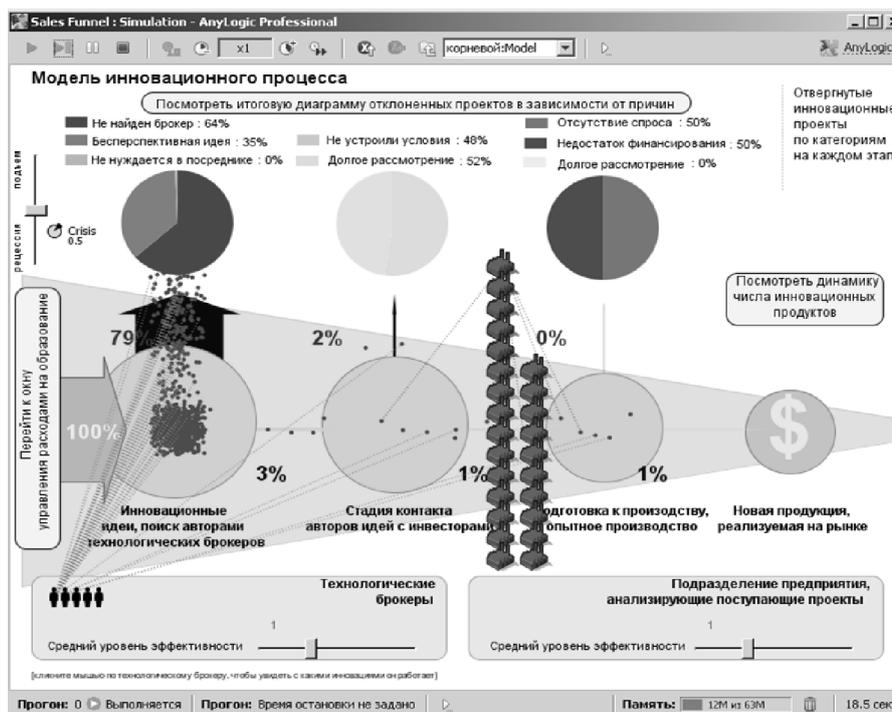


Рис.4. Внешний вид окна анимации модели «инновационной воронки»

Для оценки эффективности взаимодействия агентов в модели были созданы параметры *profit* (абсолютная величина чистых выгод) и *efficiency* (отношение полезных конечных результатов её функционирования к затраченным ресурсам).

В эффективном управлении воронкой для инновационной системы любого уровня существуют две важнейшие проблемы: расширить вход воронки и до необходимого размера сузить ее горловину. Иными словами, необходимо увеличивать генерацию идей о новых продуктах, процессах и технологиях, организуя при этом эффективный процесс их отбора. При этом следует организовывать инновационный процесс так, чтобы была минимальной доля отклоненных проектов по причине отсутствия свободных технологических брокеров, разногласий при обсуждении условия контракта с инвестором и др.

В идеале авторы разработок не должны покидать инновационную систему по этим причинам, и, соответственно, доля проектов отклоненных в связи с их бесперспективностью будет стремиться к 100%. Чтобы не запутаться в огромном количестве вычислительных экспериментов, необходимо сузить круг поиска, стараясь внести в модель как можно более приближенные к реальности варианты исследования инновационной системы. Поэтому каждое подмножество  $E_1, E_2, \dots, E_M$  соответствует определённой группе экспериментов, характеризующихся своими начальными параметрами и управляющими воздействиями.

Например,  $E_1$  можно рассматривать как множество экспериментов при отсутствии управляющих воздействий, а  $E_2$  – как множество экспериментов, когда исследователь осуществляет управляющие воздействия. Тогда,  $E = E_1 \cup E_2$ .

Изменяя управляющие параметры, в модели можно реализовать следующие стратегии, а также их комбинации, позволяющие упорядочить множество экспериментов:

- увеличение/уменьшение число технологических брокеров;
- повышение/снижение профессионализма в работе технологических брокеров;
- улучшение/ухудшение общеэкономической ситуации;
- увеличение/снижение доли расходов на высшее профессиональное образование в общем объеме расходов федерального бюджета и другие факторы.

Запуская модель, задавая начальные условия и управляя ходом экспериментов, пользователь получает возможность изучить поведение инновационной системы. С помощью разработанной мультиагентной модели «инновационной воронки» можно получить как качественные, так и количественные оценки эффекта воздействия на инновационную систему. Количественные оценки могут быть получены в процессе расчета параметров *efficiency* и *profit*, при анализе изменения числа инновационных продуктов, реализуемых на рынке, и т.д. Качественные оценки могут базироваться, например, на анализе причин скопления инновационных идей на некоторой стадии отбора.

---

## Заключение

Таким образом, АОМ инновационного процесса позволяет проследить взаимосвязи агентов и оценить эффективность функционирования инновационной системы любого уровня с различных позиций.

Для демонстрации возможностей использования построенной модели охарактеризуем результаты проведенных экспериментов, которые позволяют проиллюстрировать выявленные закономерности.

Во-первых, следует отметить, что в случае эффективной работы брокеров показатели эффективности всей системы растут значительно быстрее.

Во-вторых, график *efficiency* представляют собой S-образную кривую – динамика процесса в чем-то напоминает динамику распространения заболевания. Во многих работах и экспериментальных исследованиях высказаны предположения о возможности использования S-образных кривых при

моделировании процессов технологического развития и показано, что процесс диффузии инноваций описывается логистической кривой или ее модификациями [4, 6, 7].

Поэтому можно говорить о том, что практически точно воспроизведена экономическая реальность в форме виртуальной реальности агент-ориентированной модели, а также формализованы и реализованы в AnyLogic реальные процессы, происходящие в инновационной системе, следовательно, модель может быть использована для выработки управленческих решений.

---

### Благодарности

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA ([www.ithea.org](http://www.ithea.org)) and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine ([www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua)).

---

### Библиографический список

1. Горизонты инновационной экономики в России: Право, институты, модели/ Общ.ред. В.Л.Макарова. – М.:ЛЕНАНД, 2010. – 240 с.
2. Индикаторы инновационной деятельности: 2009. Статистический сборник. – М.: ГУ–ВШЭ, 2009. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю.Г. Карпов. – СПб.: БХВ–Петербург, 2005. – 400 с.
3. Маевский В.И. Введение в эволюционную макроэкономику / В.И. Маевский. – М.: Изд-во «Япония сегодня», 1997. – 106 с.
4. Миндич Д. Хорошо выдержанные инновации / при участии А.Никифоровой // Эксперт. – 2011. – № 41. – С.71-75.
5. Полтерович В.М. Диффузия технологий и экономический рост / В.М.Полтерович, А.А.Хенкин. – М.:Экономика, 1988. – 189 с.
6. Скиба, А. Н. Эффект резонанса в инновационных системах - условия возникновения и экономическая интерпретация / А. Н. Скиба, В. А. Гарькавый// Экономика и математические методы / Российская академия наук. – 2011. – Том 47, №3 – С.68-79
7. Herbert D. Agent-Based Models of Innovation and Technological Change /David Helbert// Handbook of Computational Economics: in K. L. Judd and L. Tesfatsion, editors, Elsevier. – 2005. – Volume 2. –P.1235-1272.
8. Официальный сайт компании XJ Technologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.xjtek.com/> (дата обращения 30.02.12)

---

### Сведения об авторах



**Анатолий Селянинов** – Пермский государственный национальный исследовательский университет, аспирант кафедры информационных систем и математических методов в экономике, Россия, г. Пермь, 614990, ул. Букирева, д. 15; e-mail: [selianinov@yandex.ru](mailto:selianinov@yandex.ru)  
Major Fields of Scientific Research: моделирование инновационных систем, агент-ориентированное моделирование, математические и инструментальные методы в экономике



**Наталья Фролова** – Пермский государственный национальный исследовательский университет, доцент кафедры информационных систем и математических методов в экономике, Россия, г. Пермь, 614990, ул. Букирева, д. 15; e-mail: [nvf\\_psu@mail.ru](mailto:nvf_psu@mail.ru).  
Major Fields of Scientific Research: графовые модели бизнес-процессов и систем; графовые грамматики; аналитические системы, моделирование социально-экономических систем