

УДК 004.89; 004.942

## Мультиагентная система управления рынком инвестиционных проектов в энергетике

Н.Н. Елин<sup>1</sup>, С.Г. Фомичева<sup>2</sup>, Т.Н. Елина<sup>2</sup>, В.А. Мыльников<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУВПО «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново, Российская Федерация

<sup>2</sup>ФГБОУВПО «Норильский индустриальный институт», г. Норильск, Российская Федерация

<sup>3</sup>ФГКВУВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»,

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: yelinnn@mail.ru, mva\_etn@mail.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** Рынок инвестиционных проектов в энергетике является сложной, открытой, динамически изменяющейся трудноуправляемой системой. Самоорганизация этого рынка осложняется большой инерционностью, отсутствием или неполнотой необходимой информации. Поэтому многие участники не могут реализовать свой потенциал: проекты не находят своих инвесторов, а инвестиционные запросы остаются частично или полностью неудовлетворенными. Существующие методы поддержки механизмов самоорганизации рынка являются локальными, реализуются, как правило, в рамках одного предприятия и учитывают только его интересы. В связи с этим актуальна задача создания механизмов управления движением спроса и предложения на основе мультиагентных систем.

**Материалы и методы:** Для решения поставленной задачи использованы иерархические нейро-нечеткие модели и мультиагентные системы.

**Результаты:** Разработана математическая модель управления движением спроса и предложения на рынке инвестиционных проектов в энергетике на основе мультиагентных систем, позволяющая проводить анализ рынка, вносить изменения в существующие проекты в соответствии с требованиями инвесторов, а также формировать комплексные проекты.

**Выводы:** Предложенная модель поддержки механизмов самоорганизации рынка инвестиционных проектов в энергетике на основе применения мультиагентных систем позволяет автоматизировать процессы поиска и отбора инвестиционных проектов, а также оценивать эффективность их реализации с точки зрения удовлетворения требований инвестора. Использование в качестве инструмента методов нейро-нечетких систем позволяет накапливать и использовать знания о существующих потребностях рынка.

**Ключевые слова:** механизмы самоорганизации, базы знаний, нейро-нечеткие информационные системы, мультиагентные системы, автоматизация процессов, инвестиционная деятельность.

## Multi-agent market management system of investment projects in the energy sector

N.N. Yelin<sup>1</sup>, S.G. Fomicheva<sup>2</sup>, T.N. Yelina<sup>2</sup>, V.A. Mylnikov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russian Federation

<sup>2</sup>Norilsk Industrial Institute, Norilsk, Russian Federation

<sup>3</sup>Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky, St. Petersburg, Russian Federation

E-mail: yelinnn@mail.ru, mva\_etn@mail.ru

### Abstract

**Background:** The investment project market in the power industry is a complex, open, dynamically changing and difficult to manage system. Self-organization of this market is complicated because of high inertia and lack or incompleteness of the necessary information. Therefore, many participants cannot realize their potential: projects do not find their investors, and investment demands remain partially or completely dissatisfied. The existing methods of market self-organization mechanisms are local and are usually realized at individual enterprises taking into account their specific interests only. Thus, it is quite urgent to develop mechanisms to control the traffic of demand and supply based on multi-agent systems.

**Materials and Methods:** Hierarchical neuro-fuzzy models and multi-agent systems were used to solve this problem.

**Results:** A mathematical model has been developed to control the movement of supply and demand on the market of investment projects in power industry based on multi-agent systems. The model allows analyzing the market, making changes to existing projects in accordance with the requirements of investors and building complex projects.

**Conclusions:** The proposed model of self-organization mechanisms support in the energy sector through the application of multi-agent systems market of investment projects can help automate the search and selection of investment projects, as well as evaluate the effectiveness of their implementation in terms of meeting the requirements of an investor. The application of the neuro-fuzzy systems methods as a tool allows accumulating and using knowledge about the existing market needs.

**Key words:** self-organization mechanisms, knowledge bases, neuro-fuzzy information systems, multi-agent systems, process automation, investment activity.

DOI: 10.17588/2072-2672.2016.2.038-044

Рынок инвестиционных проектов в энергетике является сложной, открытой, динамически изменяющейся системой, что вызывает множество проблем при реализации систем управления. Кроме того, рынок постоянно находится под влиянием факторов внешней среды, что может изменять структуру и функциональность как всей системы, так и ее элементов. На рынке постоянно появляются новые участники (инвесторы, проекты) и исчезают старые.

В условиях отсутствия единого управляющего органа, в функции которого входили бы организация и установка связей между участниками рынка, регулирование их поведения и оценка эффективности их функционирования, естественным образом включаются механизмы самоорганизации рынка [1].

Процесс самоорганизации рынка осложняется отсутствием или неполнотой информации, необходимой для принятия управленческих решений, и приводит к тому, что достаточно большое количество участников не может реализовать свой потенциал: проекты не находят своих инвесторов, а инвестиционные запросы остаются частично или полностью неудовлетворенными.

Полного соответствия спроса и предложения возможно достичь только за счет реализации проектов на заказ или под конкретное техническое задание, что часто приводит к завышенной стоимости проекта [2]. В результате проект является уникальным продуктом, увеличиваются затраты и время на его разработку, что часто неприемлемо для инвестора. При этом конечный продукт не всегда полностью удовлетворяет всем требованиям к нему.

Для решения существующих проблем предлагается создание механизмов управления движением спроса и предложения на основе мультиагентных систем (МАС) [3], необходимых для информационной поддержки процессов управления и самоорганизации рынка инвестиционных проектов.

Рынок инвестиционных проектов может быть рассмотрен на различных уровнях:

1. Проектно-конструкторские разработки и инвестиционные потребности отдельного предприятия, учитывающие характер энергетического производства и востребованные только в его рамках ( $P_r$ ).

2. Региональные рынки инвестиционных проектов в энергетике, которые зависят от экономических, климатических, географических и других особенностей регионов ( $R$ ).

3. Отраслевые рынки, учитывающие технологические и экономические показатели отрасли энергетики ( $O$ ).

Очевидно, что инвестиционные проекты каждого рынка максимально полно удовлетворяют требованиям инвесторов того же рынка. Но на практике такое соответствие спроса и предложения встречается редко. Чаще всего проекты одного рынка могут частично удовлетворять по-

требности инвесторов другого рынка, и для максимального соответствия требованиям проекты должны быть либо доработаны, либо объединены в один комплексный проект с учетом потребностей инвестора [4].

Если рассматривать функционирование каждого рынка как интеллектуальную мультиагентную систему [5], то весь рынок проектов опеределяется как множество МАС, т. е. коммуникационная среда, в которой происходит взаимодействие с другими МАС:

$$MAC = \{MAC_{Pr}, MAC_O, MAC_R\}. \quad (1)$$

В системе присутствуют агенты двух типов: инвестиционные проекты ( $P$ ) и инвестиционные запросы ( $I$ ). Внешняя среда каждого агента ( $P$ ,  $I$ ) на конкретном рынке ограничена, и ему недоступна полная информация о глобальном состоянии рынка. Например, инвестор, как правило, ищет проекты, разработанные в рамках своего региона или отрасли. Поэтому МАС на каждом уровне можно реализовать в виде интеллектуального агента, взаимодействующего с другими МАС в целях максимального удовлетворения спроса и предложения. Общее описание МАС на каком-либо уровне  $n = \{Pr, R, O\}$  представим следующим образом:

$$MAC_n = (P, I, V, S, MAC), \quad (2)$$

где  $P$  – множество агентов – инвестиционных проектов;  $I$  – множество агентов – инвесторов;  $V$  – множество взаимодействий между агентами  $P$ , т. е. возможные варианты создания комплексных проектов [4];  $S$  – множество взаимодействий между агентами  $P$  и  $I$ , т. е. возможные варианты реализации проектов у инвесторов;  $MAC$  – множество МАС, т. е. множество взаимодействующих рынков на различных уровнях.

Агенты наделены собственными механизмами мотивации, т. е. внутренние убеждения, желания, намерения и мотивы, порождающие цели, которые и определяют их действия. Целью каждого агента типа  $P$  и  $I$  является заключение контракта, наиболее полно удовлетворяющего их запросам (рис. 1).

Контракт заключается между одним инвестиционным проектом (агент  $P$ ) и одним инвестором (агент  $I$ ). Но при этом возможна ситуация, когда запросам инвестора удовлетворяет только проект, созданный путем объединения и/или пересечения нескольких проектов, т. е.  $P = (P_1 * P_2 * \dots * P_n) * I$ , где  $(*) \in \{\cup, \cap\}$ . Механизм оценки возможности объединения и формирования комплексного проекта на основе онтологических моделей подробно рассмотрен в [1].

Целевую функцию агента  $P$  можно представить следующим образом:

$$F^P = \max(C^I \cdot Y^I), \quad (3)$$

где  $C^I$  – предлагаемый инвестором размер финансирования проекта;  $Y^I$  – привлекательность инвестора.

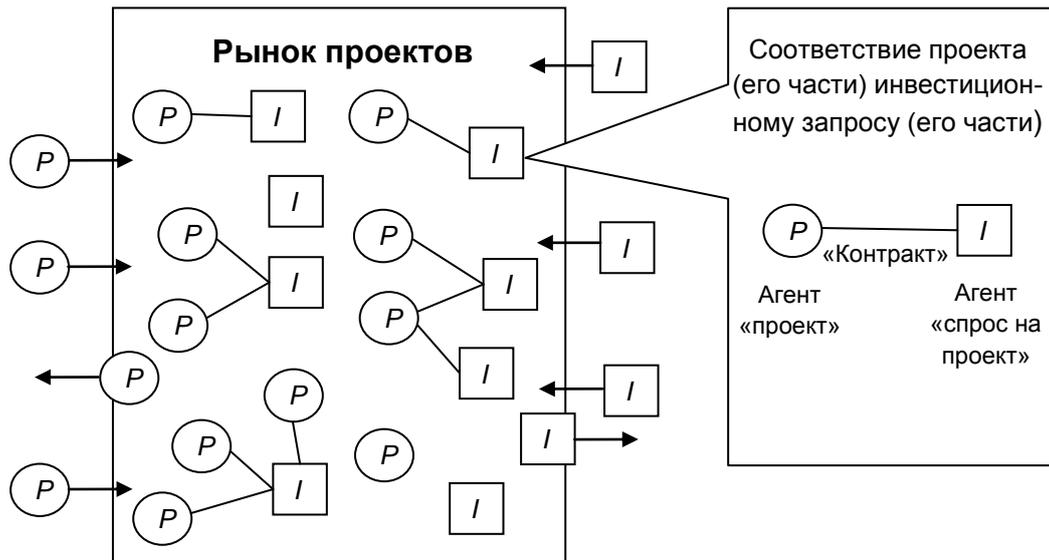


Рис. 1. Рынок инвестиционных проектов

Для оценки привлекательности инвестора предлагается использовать иерархические нейро-нечеткие сети [6].

Привлекательность инвестора оценивается величиной коэффициента, получаемого на выходе нейро-нечеткой сети оценки инвестора (рис. 2, а).

Сеть оценки репутации инвестора (V1) получает на вход:

- степень исполнения условий контрактов ( $Y_{11}$ );
- степень поддержки научных исследований ( $Y_{12}$ );
- степень поддержки приоритетных направлений ( $Y_{13}$ );
- длительность оформления контрактов ( $Y_{14}$ ).

Сеть оценки надежности инвестора (V2) получает на вход:

- уровень используемых технологий ( $Y_{21}$ );
  - уровень используемой техники ( $Y_{22}$ );
  - степень открытости информации ( $Y_{23}$ ).
- Сеть оценки опыта инвестора (V3) получает на вход:

- уровень квалификации работников ( $Y_{31}$ );
- уровень квалификации управленческого персонала ( $Y_{32}$ );
- опыт внедрения проектов ( $Y_{33}$ );
- длительность присутствия на рынке ( $Y_{34}$ );
- размер компании ( $Y_{35}$ ).

Сеть оценки экономических показателей (V4) получает на вход:

- ежегодный объем инвестиций ( $Y_{41}$ );
- степень ликвидности ( $Y_{42}$ );
- степень финансовой устойчивости ( $Y_{43}$ ).

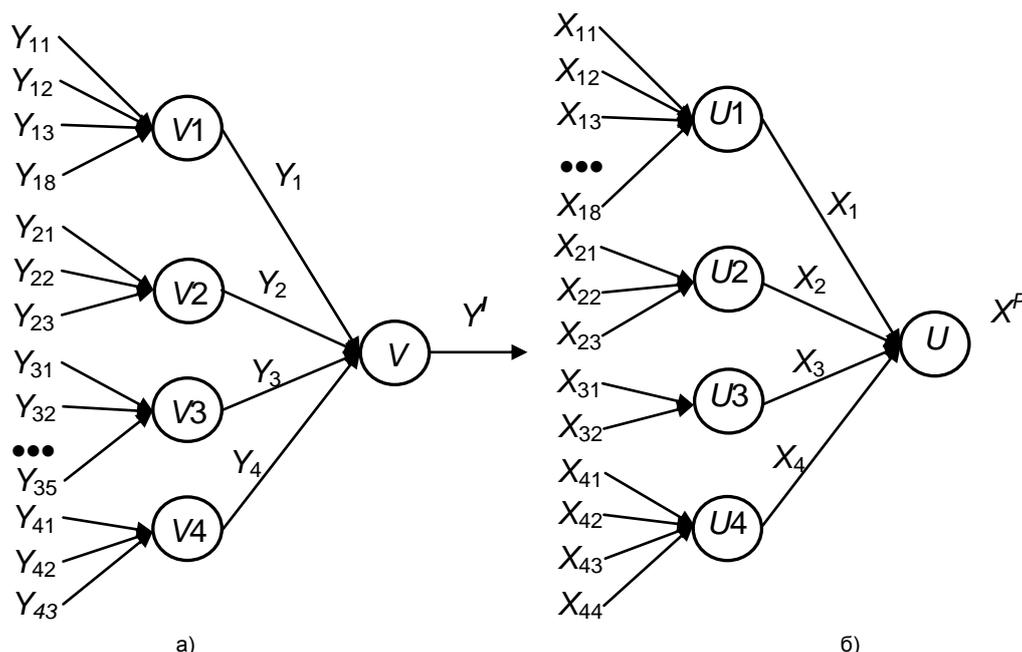


Рис. 2. Структура иерархической нейро-нечеткой сети комплексной оценки: а – инвесторов; б – инвестиционных проектов

Ограничения целевой функции зависят от значений критериев оценки проекта ( $X_1^P$ ), команды разработчиков ( $X_2^P$ ), результатов проекта ( $X_3^P$ ), экономических показателей ( $X_4^P$ ) и соответствующих требований инвестора к проекту ( $X_1^I$ ), команде разработчиков ( $X_2^I$ ), результатам проекта ( $X_3^I$ ) и его экономическим показателям ( $X_4^I$ ):

$$\begin{cases} X_1^I \leq X_1^P, \\ X_2^I \leq X_2^P, \\ X_3^I \leq X_3^P, \\ X_4^I \leq X_4^P. \end{cases} \quad (4)$$

Значение каждого критерия регулируется с помощью иерархической нейро-нечеткой сети оценки инвестиционного проекта (рис. 2,б).

Сеть оценки проекта ( $U1$ ) получает на вход:

- степень актуальности ( $X_{11}$ );
- степень устойчивости ( $X_{12}$ );
- длительность ( $X_{13}$ );
- степень соответствия приоритетным направлениям ( $X_{14}$ );
- степень корректности используемых моделей и технологий ( $X_{15}$ );
- уровень проекта ( $X_{16}$ );
- динамику развития проекта ( $X_{17}$ );
- специфичность проекта ( $X_{18}$ ).

Сеть оценки разработчиков ( $U2$ ) получает на вход:

- уровень квалификации исполнителей ( $X_{21}$ );
- опыт разработки и внедрения проектов ( $X_{22}$ );
- наличие публикаций ( $X_{23}$ ).

Сеть оценки результатов проекта ( $U3$ ) получает на вход:

- степень надежности ( $X_{31}$ );
- степень новизны ( $X_{32}$ ).

Сеть оценки экономических показателей ( $U4$ ) получает на вход:

- экономическую эффективность ( $X_{41}$ );
- востребованность на рынке ( $X_{42}$ );
- степень открытости ( $X_{43}$ );
- возможность адаптируемости ( $X_{44}$ ).

В иерархической структуре каждая нейро-нечеткая сеть типа ANFIS имеет пять слоев: термы входных переменных, antecedentes нечетких правил, нормализация степеней выполнения правил, заключения правил, агрегирование результатов.

В процессе обучения производилась настройка весов абсцисс носителей и высот, коэффициентов линейных заключений Сугено [7], весов правил нечеткого вывода для каждой сети методом обратного распространения ошибки в соответствии со следующими выражениями:

$$\begin{aligned} w_{ij}(t+1) &= w_{ij}(t) - \eta \frac{dE}{dw_{ij}(t)}, \\ v_{ij}(t+1) &= v_{ij}(t) - \eta \frac{dE}{dv_{ij}(t)}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$c_{i(m+1)k}(t+1) = c_{i(m+1)k}(t) - \eta \frac{dE}{dc_{i(m+1)k}(t)},$$

$$z_{ik}(t+1) = z_{ik}(t) - \eta \frac{dE}{dz_{ik}(t)},$$

где  $\eta$  – скорость обучения сети;  $m$  – количество И-связок в antecedентах;  $w_{ij}(\cdot) \in [0,1]$  – веса абсцисс носителей  $b_i$ ;  $v_{ij}(\cdot) \in [0,1]$  – веса абсцисс высот  $x_i^*$  термов входных лингвистических переменных ( $i = \overline{1,44}, j = \overline{1, Nterms}$ );  $c_{i(m+1)k}$  – коэффициенты линейных заключений Сугено;  $z_{ik}(\cdot) \in [0,1]$  – веса правил нечеткого вывода ( $i = \overline{1,16}, k = \overline{1, Nrules}$ );  $E = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (\tilde{Y}_3^i - Y^i)^2$ .

Для сокращения незначимых связей и правил использован метод проекций [8], при котором синоптические веса обнуляются при выполнении верхних условий:

$$\begin{aligned} w_{ij}(t+1) &= \begin{cases} 1, & w_{ij}(t+1) \geq (1-\varepsilon), \\ w_{ij}(t+1), & w_{ij}(t+1) < \varepsilon, \end{cases} \\ v_{ij}(t+1) &= \begin{cases} 1, & v_{ij}(t+1) \geq (1-\varepsilon), \\ v_{ij}(t+1), & v_{ij}(t+1) < \varepsilon, \end{cases} \\ c_{i(m+1)k}(t+1) &= \begin{cases} 0, & c_{i(m+1)k}(t+1) \leq \varepsilon, \\ c_{i(m+1)k}(t+1), & c_{i(m+1)k}(t+1) > \varepsilon, \end{cases} \\ z_{ik}(t+1) &= \begin{cases} 0, & z_{ik}(t+1) \leq \varepsilon, \\ z_{ik}(t+1), & z_{ik}(t+1) > \varepsilon, \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\varepsilon$  – априорная малая пороговая константа.

Обучение множества гибридных сетей  $V$  и  $U$  составило от 3300 до 6000 эпох.

Для гибридной сети  $V$  соответствующие показатели составляют:

- ошибка обучения – 4,46 %;
- ошибка тестирования – 7,46 %;
- ошибка на контрольной выборке составила 7,56 %;

- время обучения сети – не более 10 мин.

Для гибридной сети  $U$  соответствующие показатели составляют:

- ошибка обучения – 13,56 %;
- ошибка тестирования – 9,23 %;
- ошибка на контрольной выборке составила 12,36 %;

- время обучения сети – не более 12 мин.

Целевую функцию агента  $I$  можно представить следующим образом:

$$F^I = \min \left( \frac{C^P}{X^P} \right), \quad (7)$$

где  $C^P$  – требуемый разработчиком размер финансирования проекта;  $X^P$  – привлекательность проекта.

Привлекательность проекта представляет собой коэффициент, получаемый на выходе нейро-нечеткой сети оценки проекта  $X^P$  (рис. 2). Ограничения целевой функции такие же, как и у агентов типа  $P$  (4).

Для агента каждого типа разрабатываются взаимосвязанные между собой модули (рис. 3) [9, 10]. Модуль «Сценарии поведения» содержит совокупность всех сценариев поведения конкретного типа агентов. Процесс функционирования агента представляется в виде последовательности исполняемых им сценариев поведения. Порядок их исполнения определяется состоянием рынка и модулем управления поведением. Сценарии поведения агента могут исполняться с привлечением базы знаний данного агента. Выбор необходимого сценария поведения агента на основании правил из «Модели управления поведением» зависит от текущего состояния буфера актуальных событий у агента, в котором могут находиться:

- сообщения, полученные от других агентов типа  $P$  и  $S$ ;
- события, сгенерированные самим агентом в предыдущие моменты времени;
- события окружающей среды;
- анализ предыстории поведения агента.

За реализацию схем взаимодействия агента с прочими агентами системы отвечает модуль взаимодействия, который включает в себя шаблоны исходящих сообщений и сценарии диалогов с агентами типа  $P$  для объединения в

целях формирования комплексного проекта и агентами типа  $I$  для выделения инвестиций.

В рамках модели (1) агенты-проекты ( $P_i$ ) и агенты-инвесторы ( $I_j$ ) описываются следующим образом:

$$P_i = (MAC_i, V_i, S_i), \quad I_j = (MAC_j, S_j),$$

где  $MAC_i, MAC_j$  – рынок, в котором функционирует объект;  $V_i$  – подмножество взаимодействия данного агента с другими агентами типа  $P$ ;  $S_i, S_j$  – подмножество взаимодействий данного агента с агентами типа  $I$  и  $P$  соответственно.

Функционирование  $MAC$  рынка инвестиционных проектов предполагает в каждый момент времени наличие большого количества запросов инвесторов и предлагаемых для реализации инвестиционных проектов.

Для каждого инвестиционного запроса может существовать три варианта развития событий для инвестора:

1. Существует полностью подходящий инвестиционный проект (проекты).
2. Проект может быть создан путем объединения существующих проектов (их частей).
3. Подходящего проекта не существует и не может быть создано на данном рынке.

Для каждого инвестиционного проекта может существовать три варианта:

1. Существует полностью подходящий инвестиционный запрос (запросы).
2. Проект может быть реализован как часть (модуль) комплексного проекта, созданного путем объединения существующих проектов (их частей).
3. Подходящего инвестора на данном рынке не существует.

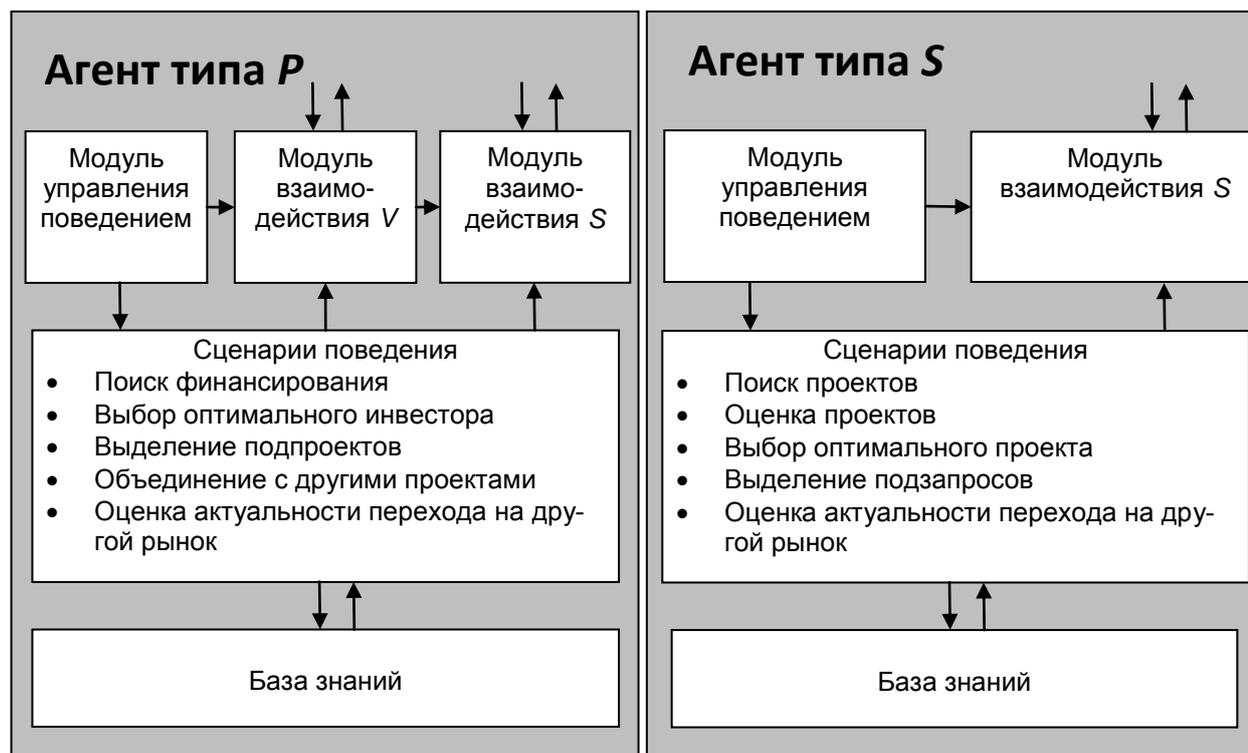
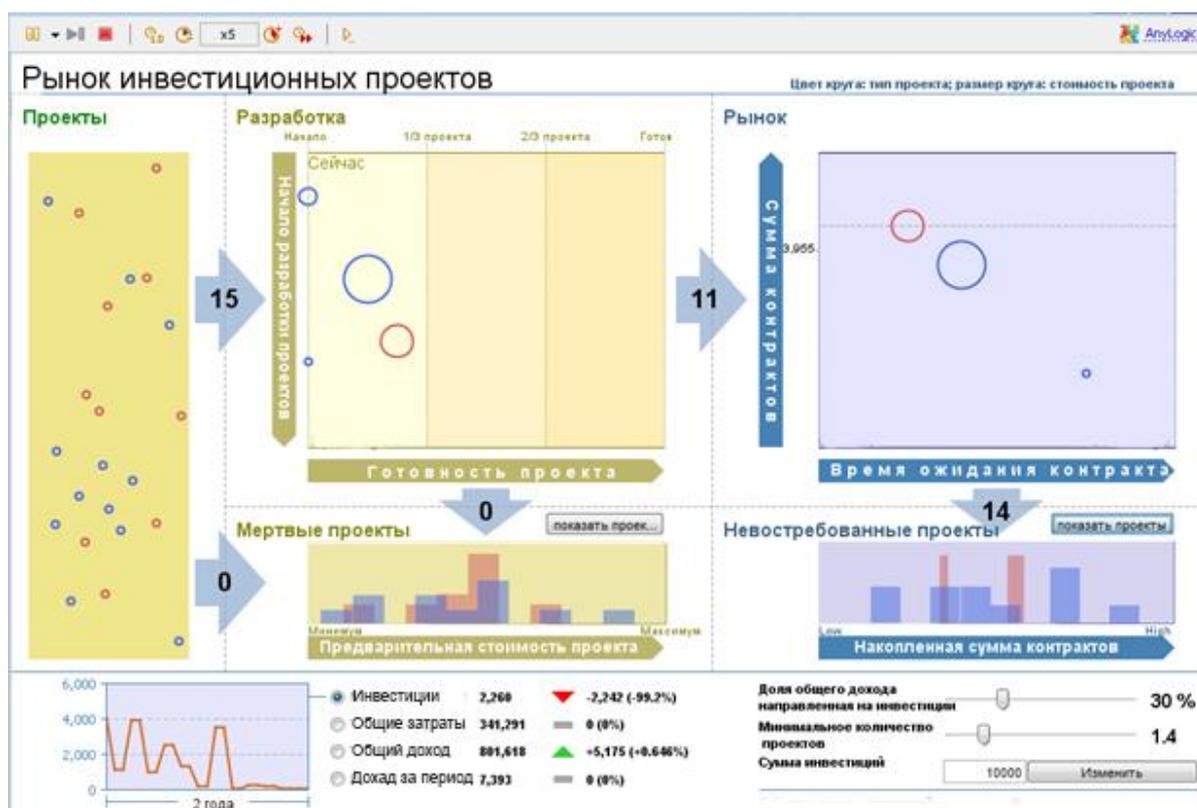


Рис. 3. Структурная схема агентов типа  $P$  и  $S$

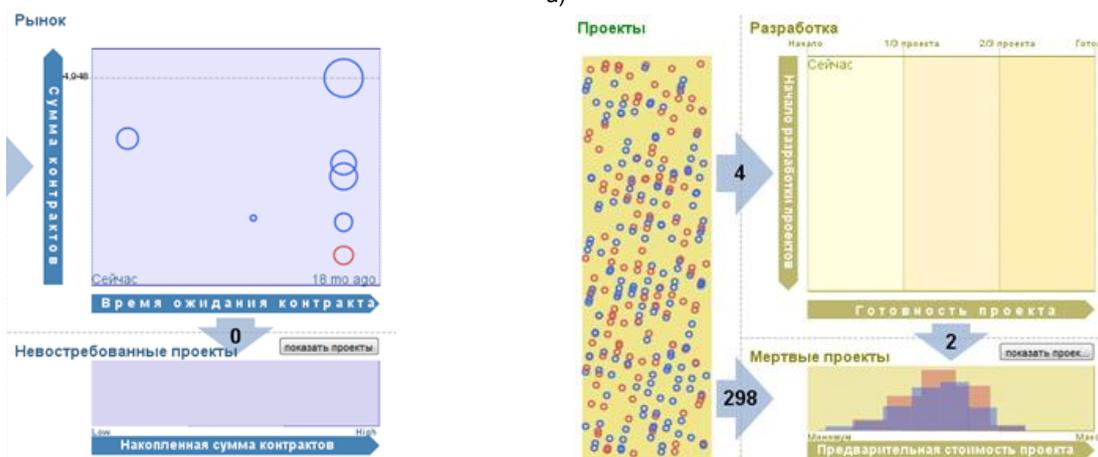
Для первых двух вариантов реализация проекта происходит в рамках рассматриваемой MAC. Для третьего варианта MAC конкретного рынка накапливает базу инвестиционных запросов и предлагаемых проектов, производит их анализ [1] и начинает взаимодействовать с MAC других рынков.

Для исследования поведения агентов  $P$  и  $I$  на рынке построена модель рынка инвестиционных проектов в среде AnyLogic PLE (рис. 4). В модуле «Проекты» представлены идеи инвестиционных проектов, которые переходят в модуль «Разработка» в зависимости от существующего спроса на рынке либо через какое-то время заканчивают свое

существование. Готовые инвестиционные проекты переходят в модуль «Рынок», где ожидают контрактов с инвесторами. Каждый проект и каждый инвестор в модели является агентом, реализующим сценарий (3)–(4) и (7)–(4) соответственно. В качестве механизмов управления моделью представлены два показателя: общее количество проектов и сумма инвестиций на их разработку. Регулируя первый показатель, можно определить оптимальное количество проектов на рынке и сделать выводы о стимулировании проектно-конструкторской деятельности региона, отрасли, предприятия и т.п (рис. 4,а).



а)



б)

в)

Рис. 4. Модель MAC рынка инвестиционных проектов: а – результат сбалансированности спроса и предложения; б – переизбыток проектов; в – недостаточное количество проектов

Регулируя второй показатель, можно сделать выводы об объемах внутреннего финансирования проектов до их выхода на рынок. Например, при значительном увеличении этих показателей большинство проектов уходят в «мертвую зону» и являются не востребуемыми (рис. 4,б), а при значительном уменьшении – на рынке наблюдается переизбыток спроса, поскольку готовых проектов на данный момент не существует (рис. 4,в).

Предложенная модель поддержки механизмов самоорганизации рынка инвестиционных проектов в энергетике на основе применения мультиагентных систем позволяет автоматизировать процессы поиска и отбора инвестиционных проектов, а также осуществлять оценку возможности их реализации с точки зрения удовлетворения требований инвестора. Использование в качестве инструмента оценки привлекательности инвесторов и проектов механизма нейро-нечетких систем позволит системе накапливать и использовать знания о существующих потребностях рынка. Возможность формирования комплексных проектов значительно ускорит процесс поиска и заключения контрактов.

Предлагаемая математическая модель использовалась при формировании перечня инвестиционных проектов в области энергосбережения в рамках конкурса «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» Российского научного фонда (рнф.рф/ru/contests), что позволило отобрать 8 проектов, удовлетворяющих заявленным в конкурсной документации требованиям.

#### Список литературы

1. Minciardy R., Robba M. Dynamic optimization for distributed energy production // Preprints of the 18th IFAC world congress. – Milano (Italy) 2011. – P. 1636–1641.
2. Мизонов В.Е., Елин Н.Н., Елина Т.Н., Мылников В.А. Технико-экономическое обоснование выбора варианта эксплуатации теплоизолированных водоводов при надземной прокладке в условиях Крайнего Севера // Промышленная энергетика. – 2014. – № 5. – С. 38–42.
3. McArthur S., Davidson E., Catterson V., Dimeas A., Hatziargyriou N., Ponci F., Funabashi T. Multi-Agent Systems for Power Engineering Applications—Part I: Concepts, Approaches, and Technical Challenges // IEEE Transactions on Power Systems. – 2007. – Vol. (22). – P. 1743–1759.
4. Елин Н.Н., Фомичева С.Г., Елина Т.Н., Мылников В.А. Моделирование редуцированных баз знаний при интеграции инвестиционных проектов в энергетике // Вестник ИГЭУ. – 2016. – Вып. 1 – С. 63–68.
5. Безгубова Ю.О. Мультиагентное управление распределенными информационными потоками // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – № '1(9). – С. 113–119.

Елин Николай Николаевич,  
ФГБОУВО «Ивановский государственный политехнический университет»,  
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой гидравлики, теплотехники и инженерных сетей,  
e-mail: yelinnn@mail.ru

Фомичева Светлана Григорьевна,  
ФГБОУВПО «Норильский индустриальный институт»,  
кандидат технических наук, профессор, зав. кафедрой информационных систем и технологий,  
e-mail: levikha@rambler.ru

6. Елина Т.Н., Абалдова С.Ю. Нейро-нечеткое моделирование процессов оценки результативности системы менеджмента качества // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. – 2014. – № 2. – С. 111–118.

7. Glimm J. Theorem 1, A Stone-Weierstrass Theorem for C\*-algebras // Annals of Mathematics, Second Series. – Sep., 1960. – Vol. 72. – No. 2. – P. 216–244.

8. Kosko B. Fuzzy Systems as Universal Approximators // IEEE Trans. on Computers. – 1994. – Vol. 43. – № 11. – P. 1329–1333.

9. Городецкий В., Лебедев А. Технология многоагентных систем в задачах планирования с ограничениями реального времени // Проблемы информатизации. – 1998. – № 1. – С. 34–38.

10. Виноградов Г.П., Кузнецов В.Н., Богатиков В.Н. Модель принятия решений целеустремленного поведения агента в слабоструктурированных средах // Программные продукты и системы. – 2012. – № 2. – С. 9–16.

#### References

1. Minciardy, R., Robba, M. Dynamic optimization for distributed energy production. Preprints of the 18th IFAC world congress. Milano (Italy), 2011, pp. 1636–1641.
2. Mizonov, V.E., Elin, N.N., Elina, T.N., Myl'nikov, V.A. Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie vybora varianta ekspluatatsii teploizolirovannykh vodovodov pri nadzemnoy prokladke v usloviyakh Kraynego Severa [Feasibility study of selecting operation heat-insulated conduits when pipes are installed aboveground in the Far North]. *Promyshlennaya energetika*, 2014, no. 5, pp. 38–42.
3. McArthur, S., Davidson, E., Catterson, V., Dimeas, A., Hatziargyriou, N., Ponci, F., Funabashi, T. Multi-Agent Systems for Power Engineering Applications—Part I: Concepts, Approaches, and Technical Challenges. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2007, vol. (22), pp. 1743–1759.
4. Elin, N.N., Fomicheva, S.G., Elina, T.N., Myl'nikov, V.A. Modelirovanie reducirovannykh baz znaniy pri integratsii investitsionnykh projektov v energetike [Modeling of reduced knowledge bases in investment projects integration in the energy sector]. *Vestnik IGEU*, 2016, issue 1, pp. 63–68.
5. Bezgubova, Yu.O. Mul'tiagentnoe upravlenie raspredelennymi informatsionnymi potokami [Management of distributed multi-agent information flows]. *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii*, 2015, no. '1(9), pp. 113–119.
6. Elina, T.N., Abaldova, S.Yu. Neyro-nechetkoe modelirovanie protsessov otsenki rezul'tativnosti sistemy menedzhmenta kachestva [Neuro-fuzzy modeling of quality management system efficiency evaluation]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya: Ekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom*, 2014, no. 2, pp. 111–118.
7. Glimm, J. Theorem 1, A Stone-Weierstrass Theorem for C\*-algebras. *Annals of Mathematics, Second Series*, Sep., 1960, vol. 72, no. 2, pp. 216–244.
8. Kosko, B. Fuzzy Systems as Universal Approximators. *IEEE Trans. on Computers*, 1994, vol. 43, no. 11, pp. 1329–1333.
9. Gorodetskiy, V., Lebedev, A. Tekhnologiya mnogoagentnykh sistem v zadachakh planirovaniya s ogranicheniyami real'nogo vremeni [Technology of multi-agent systems in problems of planning with real time constraints]. *Problemy informatizatsii*, 1998, no. 1, pp. 34–38.
10. Vinogradov, G.P., Kuznetsov, V.N., Bogatikov, V.N. Model' prinyatiya resheniy tselestremennogo povedeniya agenta v slabostrukturirovannykh sredakh [A model of making decisions of agent motivated behaviour in semi-structured environments]. *Programmnye produkty i sistemy*, 2012, no. 2, pp. 9–16.

*Елина Татьяна Николаевна,*  
ФГБОУВПО «Норильский индустриальный институт»,  
кандидат экономических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий,  
e-mail: elinatn@yandex.ru

*Мыльников Владимир Аркадьевич,*  
ФГКВУВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»,  
кандидат технических наук, доцент кафедры 27,  
e-mail: mva\_etn@mail.ru